



TUGAS AKHIR – TM 095648

**PEMBUATAN DAN PENGUJIAN UNJUK KERJA OVEN
PENGERING KERUPUK UNTUK KAPASITAS 6 KG**

**FIERDA LESTARI SARPANGGA PUTRI
NRP. 2112 039 025**

**ILHAM ALKAROMI
NRP. 2112 039 037**

**Dosen Pembimbing
DEDY ZULHIDAYAT NOOR, ST. MT. PhD.**

**Instruktur Pembimbing
JIWO MULYONO, S.Pd.**

**JURUSAN D3 TEKNIK MESIN PRODUKSI KERJASAMA
ITS-DISNAKERTRANSDUK JAWA TIMUR
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015**



FINAL PROJECT – TM 095648

**THE MANUFACTURING AND PERFORMANCE
TESTING FOR 6 KG CAPACITY OF CRISPLY DRYING
OVEN**

**FIERDA LESTARI SARPANGGA PUTRI
NRP. 2112 039 025**

**ILHAM ALKAROMI
NRP. 2112 039 037**

Advisor

DEDY ZULHIDAYAT NOOR, ST., MT., PhD

Supervisor

JIWO MULYONO, S.Pd

**DEPARTMENT OF D3 MECHANICAL ENGINEERING
ITS-DISNAKERTRANSDUK EAST JAVA
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015**

LEMBAR PENGESAHAN

PEMBUATAN DAN PENGUJIAN UNJUK KERJA OVEN PENGERING KERUPUK UNTUK KAPASITAS 6 KG

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat

Memperoleh Gelar Ahli Madya

Pada

Bidang Studi Perpindahan Panas

Program Studi D3 Teknik Mesin Produksi Kerjasama ITS-

Disnakertransduk

Fakultas Teknologi Industri

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

1. Fierda Lestari Sarpangga Putri (2112 039 025)
2. Ilham Alkaromi (2112 039 037)

Disetujui Oleh Pembimbing Tugas Akhir:

Dedy Zulhidayat Noor, ST, MT, PhD.....(Dosen Pembimbing)

Jiwo Mulyono, S.Pd.....(Instruktur Pembimbing)

Surabaya, 8 Juli 2015

PEMBUATAN DAN PENGUJIAN UNJUK KERJA OVEN PENGERING KERUPUK UNTUK KAPASITAS 6 KG

Nama : 1. FIERDA LESTARI S.P
: 2. ILHAM ALKAROMI
NRP : 1. 2112 039 025
: 2. 2112 039 037
Jurusan : D3 Teknik Mesin FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Dedy Zulhidayat Noor, ST. MT. PhD.
Istruktur
Pembimbing : Jiwo Mulyono, S.Pd.

Abstrak

Sebelum digoreng kerupuk mentah dilakukan penjemuran agar kerupuk dapat mengembang sempurna ketika digoreng. Penjemuran pada UMKM jajanan kerupuk masih memanfaatkan sinar matahari. Dengan cara ini, penjemuran membutuhkan waktu yang lama selama 4-5 jam jika cuaca panas dan \pm 2-3 kali penjemuran jika cuaca mendung atau musim penghujan. Selain hal tersebut, sirkulasi udara tempat penggorengan kerupuk yang kurang baik mengakibatkan udara di dalam ruangan menjadi panas dan pengap.

Untuk menunjang proses pengeringan tersebut dibuat oven pengering kerupuk dengan pemanfaatan energi panas terbuang dari proses penggorengan. Oven dilengkapi dengan exhaust fan untuk sistem sirkulasi udara panas yang dihasilkan selama proses penggorengan. Kemudian pengujian dilakukan untuk menentukan kinerja proses pengeringan terbaik dari oven pengering.

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan dengan kapasitas 6 kg selama 1 jam, didapatkan data terbaik pada kecepatan putaran exhaust fan 205 rpm. Udara panas mengalir melalui celah yang tidak tertutup rak sehingga menyebar ke seluruh bagian oven. Berdasarkan sifat material yang dibutuhkan yaitu kuat, tahan karat, tahan panas, dan murah maka dipilih bahan yang terbuat dari galvalum dan aluminium.

Kata kunci: oven, pengering, perpindahan panas, perpindahan massa, kerupuk.

THE MANUFACTURING AND PERFORMANCE TESTING FOR 6 KG CAPACITY OF CRISPLY DRYING OVEN

Name : 1. FIERDA LESTARI S.P
: 2. ILHAM ALKAROMI
NRP : 1. 2112 039 025
: 2. 2112 039 037
Department : D3 Mechanical Engineering FTI-ITS
Advisor : Dedy Zulhidayat Noor, ST. MT. PhD.
Supervisor : Jiwo Mulyono, S.Pd.

Abstract

Before frying process, the crisply should be drying so it would perfectly expands. On SMEs, thhe drying process still use the sunlightt. In this way, drying process would take about 4-5 hours in a good weather and take about \pm 2-3 times if it was cloudy or on thhe rains. Beside that, the unfavorable air circulation of crisply drying place resulting the room air gets hot annd stuffy.

To support the crisply drying process, a drying oven was made by utilizing the waste heat ennergy during frying process. The oven equipped with exhaust fan for the heat air circulating system that produced by frying process. Then, the performance testing was done to determine the best performance drying process of the oven.

Based on the test that have been done for 6 kg capacity in an hours, the best data that be gotten was 205 rpm of rotation speed of exhaust fan. The heat air flowing through open gap and fulfill the oven space. The material properties that be needed is a strong materials, corrotion resistant, heat resistant, and inexpensive. So, using galvalum and aluminium was decided for the material.

Key Words: oven, drying, heat transfer, mass transfer, crackers.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji dan syukur dipanjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya, sehingga dapat diselesaikan dengan baik dalam penyusunan tugas Akhir yang berjudul :

“PEMBUATAN DAN PENGUJIAN UNJUK KERJA OVEN PENGERING KERUPUK UNTUK KAPASITAS 6 KG”

Tugas akhir ini merupakan salah satu persyaratan yang harus dipenuhi oleh setiap mahasiswa Program Studi D3 Teknik Mesin Produksi FTI-ITS untuk bisa dinyatakan lulus. dalam rangka tersebut maka disusunlah Tugas Akhir ini. Selain ini Tugas Akhir juga merupakan suatu bukti yang dapat diberikan kepada almamater dan masyarakat.

Banyak pihak yang telah membantu sampai selesainya Tugas Akhir ini, oleh karena itu pada kesempatan ini disampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak Dedy Zulhidayat Noor, ST., MT., PhD., selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah memberikan bimbingan dukungan dan saran sehingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.
2. Bapak Ir. Suhariyanto, MT., selaku Ketua Jurusan D3 Teknik Mesin FTI-ITS
3. Bapak Ir. Hari Subiyanto, M.Sc., selaku dosen wali.
4. Bapak Ir. Winarto, DEA., selaku dosen wali.
5. Ibu Ir. Lisa Rusdiana, MT., selaku koordinator Tugas Akhir.
6. Dosen tim penguji yang telah banyak memberikan masukan dan saran guna kesempurnaan Tugas Akhir ini.
7. Semua dosen dan karyawan Program Studi D3 Teknik Mesin FTI-ITS
8. Bapak Jiwo Mulyono, S.Pd selaku instruktur pembimbing di UPT-PK Surabaya telah banyak membantu penulisan laporan Tugas Akhir ini, sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan

9. Bapak Miftahul Huda, ST, M.Sc selaku Koordinator Mesin Logam UPT-PK Surabaya.
10. Bapak/ibu dosen, instruktur BLKIP Surabaya seluruh karyawan program studi D3 Teknik Mesin Produksi FTI-ITS yang telah banyak membimbing dan membantu selama perkuliahan.
11. Ayah dan Ibu tercinta beserta seluruh keluarga yang senantiasa memberikan doa yang tak pernah putus dan atas segala dukungannya.
12. Rekan-rekan seperjuangan D3 Teknik Mesin Produksi FTI-ITS-DISNAKERTRANSDUK, terutama angkatan 2012 terima kasih atas bantuan dan semangat yang telah diberikan.
13. Bapak Mundzir yang telah memberikan dukungannya selama pengujian tugas akhir ini.

Kekurangan atau ketidaksempurnaan tentu masih ada, namun bukan sesuatu yang disengaja, hal tersebut semata-mata karena kekhilafan dan keterbatasan pengetahuan yang dimiliki. Oleh karena itu kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi kesempurnaan Tugas Akhir ini.

Akhir kata semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi pembaca dan mahasiswa, khususnya mahasiswa Program studi D3 Teknik Mesin dan D3 Politeknik Produksi-ITS.

Surabaya, 22 Juni 2015

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
COVER	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	1
1.3 Batasan masalah	2
1.4 Tujuan.....	2
1.5 Sistematika Penulisan	3
BAB 2 DASAR TEORI	5
2.1 Perpindahan Panas	5
2.1.1 Perpindahan Panas Konduksi	5
2.1.2 Konduksi Satu Dimensi Dinding Datar	7
2.1.3 Perpindahan Panas Konveksi.....	11
2.1.4 Konveksi Paksa	13
2.1.5 Konveksi Internal	16
2.1.6 Perpindahan Panas Gabungan	19
2.1.7 Perpindahan Pada Plat Datar (Aliran Sejajar Plat).....	20
2.1.8 Rapat Massa dan Volume Spesifik	22
2.1.9 Kalor Spesifik.....	22
2.1.10 Perpindahan Massa	22
2.1.11 Difusi pada Lapisan Permeabel	23
2.2 Kekekalan Energi	24
2.2.1 Kekekalan Energi Volume Atur	24
2.2.2 Kestimbangan Energi Permukaan.....	25
2.3 Perpindahan Panas Kalor Sensibel dan Kalor	

Laten	24
2.3.1 Kalor Sensibel (Sensibel Heat).....	26
2.3.2 Kalor Laten (Latent Heat).....	27
2.4 Pengeringan	28
BAB 3 METODOLOGI	31
3.1 Diagram Alir (flow chart).....	31
3.2 Penjelasan Diagram Alir Proses Pembuatan Oven Pengering Kerupuk	32
3.3 Komponen Oven Pengering.....	36
3.4 Pengujian Alat	37
3.3.1 Persiapan Bahan dan Alat	38
3.3.2 Peralatan untuk Pengujian	38
3.3.3 Tata Cara Pengujian	40
BAB 4 HASIL DAN ANALISA PERHITUNGAN	43
4.1 Rancangan Pengering (Oven)	43
4.2 Data Spesifikasi Alat	46
4.3 Data Hasil Pengujian	47
4.4 Perhitungan Q_{in} (W) yang Digunakan dalam Proses Pengeringan	50
4.5 Kerugian Panas (Q_{loss})	51
4.5 Perhitungan Kalor Uap ($Q_{evaporasi}$)	67
4.6 Perhitungan Rendamen.....	69
4.7 Perhitungan Hasil Panas Yang Tersimpan Pada Pengering (Q_{st}).....	70
BAB 5 PENUTUP.....	73
5.1 Kesimpulan.....	73
5.2 Saran	73
DAFTAR PUSTAKA.....	74
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Harga tipikal dari koefisienn perpindahan panas konveksi	13
Tabel 4.1	Temperatur udara yang masuk dan temperatur ruangan	47
Tabel 4.2	Temperatur dalam oven	48
Tabel 4.3	Temperatur luar oven	48
Tabel 4.4	Data berat LPG	48
Tabel 4.5	Data berat kerupuk	49
Tabel 4.6	Data berat minyak goreng	49
Tabel 4.7	Data kelembaban udara	49
Tabel 4.8	Data kecepatan aliran masuk yang diukur denngan anemometer	50
Tabel 4.9	Data kecepatan pada cerobong yangng diukur dengan anemometer	50
Tabel 4.10	Data Q_{in}	51
Tabel 4.11	Koefisien konveksi bagian dalam (h_1)	61
Tabel 4.12	Koefisien konveksi bagian luar (h_2)	61
Tabel 4.13	Data hasil Q_{loss} unnnntuk A_1, A_2, A_3	64
Tabel 4.14	Data kecepatan (V) hasil pengukuran menggunakan anemometer	65
Tabel 4.15	Q_{loss} infiltrasi pada setiap percobaan	67
Tabel 4.16	Data hasil Q_{evap} pada setiap percobaan	68
Tabel 4.17	Data hasil Q_{st} pada setiap percobaan	70
Tabel 4.18	Hasil perhitungan	71

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Harga tipikal dari koefisienn perpindahan panas konveksi	13
Tabel 4.1	Temperatur udara yang masuk dan temperatur ruangan	47
Tabel 4.2	Temperatur dalam oven	48
Tabel 4.3	Temperatur luar oven	48
Tabel 4.4	Data berat LPG	48
Tabel 4.5	Data berat kerupuk	49
Tabel 4.6	Data berat minyak goreng	49
Tabel 4.7	Data kelembaban udara	49
Tabel 4.8	Data kecepatan aliran masuk yang diukur denngan anemometer	50
Tabel 4.9	Data kecepatan pada cerobong yangng diukur dengan anemometer	50
Tabel 4.10	Data Q_{in}	51
Tabel 4.11	Koefisien konveksi bagian dalam (h_1)	61
Tabel 4.12	Koefisien konveksi bagian luar (h_2)	61
Tabel 4.13	Data hasil Q_{loss} unnnntuk A_1, A_2, A_3	64
Tabel 4.14	Data kecepatan (V) hasil pengukuran menggunakan anemometer	65
Tabel 4.15	Q_{loss} infiltrasi pada setiap percobaan	67
Tabel 4.16	Data hasil Q_{evap} pada setiap percobaan	68
Tabel 4.17	Data hasil Q_{st} pada setiap percobaan	70
Tabel 4.18	Hasil perhitungan	71

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Perpindahan panas konduksi, konveksi, dan radiasi	5
Gambar 2.2	Perpindahan panas konduksi dengan difusi energi akibat aktivitas molekular	6
Gambar 2.3	Konduksi satu dimensi steady state	7
Gambar 2.4	Perpindahan panas pada dinding datar	8
Gambar 2.5	Pertumbuhan lapisan batas pada perpindahan panas konveksi	11
Gambar 2.6	Perpindahan panas konveksi	16
Gambar 2.7	Perpindahan panas antara konduksi dan konveksi	19
Gambar 2.8	Pengembangan lapisan batas kecepatan pada plat datar	21
Gambar 2.9	Difusi pada lapisan permeable	23
Gambar 2.10	Kekekalan energi volume atur	24
Gambar 2.11	Kekekalan energi permukaan sebuah media	25
Gambar 3.1	Flow chart metodologi pengerjaan oven pengering kerupuk	31
Gambar 3.2	Proses pengeringan kerupuk dengan pemanfaatan sinar matahari	32
Gambar 3.3	Proses penggorengan kerupuk. Proses penggorengan kerupuk di tempat pembuatan jajanan kerupuk bapak Mundzir dilakukan di ruangan yang sempit dan ventilasi udara yang kurang baik	33
Gambar 3.4	Tempat pengering kerupuk sederhana dengan pemanfaatan panas uap penggorengan	33
Gambar 3.5	Rancangan oven pengering dan bagian-bagiannya	36
Gambar 3.6	Diagram alir proses pengujian	37
Gambar 3.7	Hygrometer	39

Gambar 3.8	Thermometer	39
Gambar 3.9	Anemometer	40
Gambar 4.1	Susunan wajah penggorengan	41
Gambar 4.2	Penampang luasan oven pengering kerupuk	43
Gambar 4.3	Penampang samping susunan rak aliran udara panas	44
Gambar 4.4	Hasil realisasi dari rancangan	46
Gambar 4.5	Grafik fungsi kecepatan putaran exhaust fan terhadap Q_{loss}	64
Gambar 4.6	Grafik fungsi kecepatan exhaust fan dengan Q_{evap}	69
Gambar 4.7	Grafik fungsi kecepatan exhaust fan dengan Q_{st}	71

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kerupuk merupakan salah satu makanan ringan yang sangat digemari oleh masyarakat Indonesia. Maka produksi kerupuk harus tetap berjalan untuk memenuhi kebutuhan konsumen. Dalam proses produksinya, kerupuk mengalami beberapa tahapan salah satunya adalah proses pengeringan.

Di UMKM jajanan kerupuk Bapak Mundzir, kerupuk mentah yang akan digoreng mengalami proses pegeringan terlebih dahulu dengan tujuan kerupuk akan mengembang saat digoreng, selain itu dapat membuat kerupuk menjadi renyah. Pengeringan kerupuk masih menggunakan metode yang alami. Pengeringan dilakukan untuk mengurangi kadar air pada kerupuk mentah dengan cara penguapan sehingga kerupuk dapat mengembang ketika digoreng. Dengan cara ini, pengeringan membutuhkan waktu selama 4-5 jam jika cuaca panas dan \pm 2-3 kali penjemuran jika cuaca mendung atau musim penghujan serta harus membolak-balikkannya sebanyak 4-5 kali agar pengeringan merata. Kemudian permasalahan lainnya adalah tempat penggorengan kerupuk yang tertutup karena berada di dalam rumah sehingga mengakibatkan udara di dalam ruangan menjadi panas dan pengap.

Pengeringan adalah proses pemindahan panas dan uap air secara simultan yang memerlukan energi panas untuk menguapkan dan menghilangkan kandungan air yang dipindahkan dari permukaan bahan yang dikeringkan oleh media pengeringan yang biasanya berupa panas.

1.2 Rumusan Masalah

Dalam perencanaan *Pembuatan dan pengujian unjuk kerja oven pengering kerupuk untuk kapasitas 6 kg* muncul beberapa permasalahan antara lain :

1. Membuat desain oven pengering kerupuk yang mampu memanfaatkan penyerapan panas secara optimal.
2. Mengatur aliran udara panas pada oven pengering kerupuk sehingga dapat mengalir ke seluruh rak kerupuk dan mengeringkan kerupuk secara merata.
3. Pemilihan material yang digunakan untuk membuat oven pengering kerupuk sehingga dapat dijangkau oleh Usaha Mikro, Kecil, Dan Menengah (UMKM) pembuat jajanan kerupuk.

1.3 Batasan Masalah

Untuk mencapai tujuan perancangan dan memperjelas lingkup permasalahan yang akan dibahas, maka perlu ditentukan batasan-batasan masalahnya, yaitu mengenai *Pembuatan dan pengujian unjuk kerja oven pengering kerupuk untuk kapasitas 6 kg*. Dimana dalam batasan masalah ini diperlukan parameter-parameter yang nantinya dapat dijadikan acuan dalam pembahasan penulisan. Diantara parameter-parameter tersebut adalah:

1. Diasumsikan bahwa dalam keadaan kondisi *steady state*, permukaan plat penyerap rata, efek radiasi diabaikan, temperatur dan kelembaban udara di luar pengering dianggap konstan
2. Penulis tidak membahas karakteristik aliran udara pengering yang melalui produk
3. Penulis tidak membahas ketinggian cerobong karena sesuai kondisi
4. Penulis hanya membahas proses perpindahan panas dan perindahan massa secara umum
5. Penulis tidak membahas rancangan kontruksi alat dan kontrol.

1.4 Tujuan

Tujuan dari pembuatan Tugas Akhir ini adalah:

1. Terciptanya suatu desain dan teknologi tepat guna berupa oven pengering kerupuk dengan kapasitas 6 kg.

2. Dapat menganalisa kecepatan exhaust fan yang paling baik sehingga udara panas dapat mengalir ke seluruh rak kerupuk dan mengeringkan kerupuk secara merata.
3. Mampu menentukan material yang digunakan untuk membuat oven pengering kerupuk sehingga dapat dijangkau oleh Usaha Mikro, Kecil, Dan Menengah (UMKM) pembuat jajanan kerupuk.

1.5 Sistematika Penulisan

Penyusunan Tugas Akhir ini terbagi dalam lima bab yang secara garis besar dapat dijelaskan sebagai berikut :

BAB I. PENDAHULUAN

Pada bab ini membahas bagaimana tinjauan umum tentang latar belakang masalah, tujuan, batasan masalah dan sistematika penulisan laporan tugas akhir.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

Pada bab ini dijelaskan mengenai teori penunjang dan dasar perhitungan yang mendukung dalam pembuatan laporan tugas akhir.

BAB III. METODOLOGI

Pada bab ini akan dibahas mengenai metodologi perencanaan pembuatan alat, diagram alir pembuatan alat dan proses mekanisme kerja alat.

BAB IV. PERHITUNGAN DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini dijelaskan mengenai tentang pengujian elemen mesin yang didapat setelah perencanaan dan perhitungan elemen mesin.

BAB V. PENUTUP

Memuat kesimpulan berdasarkan tujuan Tugas Akhir dan rumusan masalah yang dibuat.

DAFTAR PUSTAKA

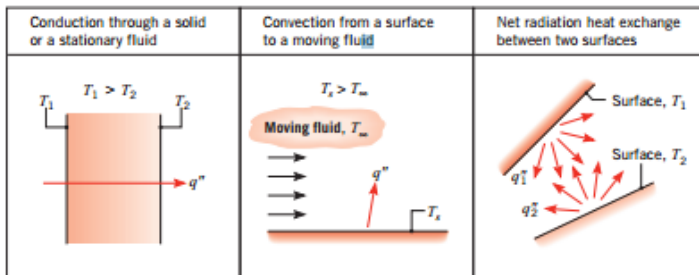
LAMPIRAN

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 2 DASAR TEORI

2.1 Perpindahan Panas

Perpindahan panas adalah perpindahan energi panas/kalor sebagai akibat adanya perbedaan temperatur. Berdasarkan definisi tersebut apabila terdapat perbedaan temperatur antara dua media, perpindahan panas pasti terjadi. Gambar 2.1 memperlihatkan perbedaan cara perpindahan panas berdasarkan mekanismenya. Cara perpindahan panas disebut modes of heat transfer. Jika terdapat gradient temperatur pada media yang diam, baik pada benda padat maupun cair perpindahan panas yang terjadi disebut konduksi. Jika gradient temperatur antara benda padat dengan cair yang mengalir disekitarnya perpindahan panas yang terjadi disebut konveksi. Semua permukaan yang memiliki temperatur memancarkan energi dalam bentuk gelombang elektromagnetik, sehingga ada atau tidak ada media perantara perpindahan panas terjadi antara dua permukaan yang berbeda temperaturnya. Perpindahan panas yang demikian ini disebut radiasi.

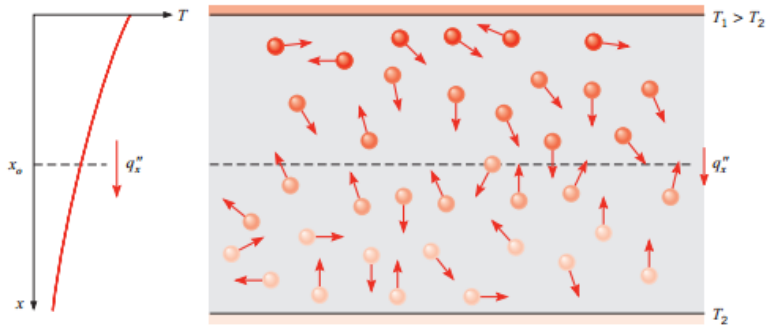


Gambar 2. 1 Perpindahan panas konduksi, konveksi, dan radiasi
(Ref. 1 hal 2)

2.1.1 Perpindahan Panas Konduksi

Perpindahan panas konduksi adalah perpindahan panas yang bergantung pada aktivitas pada level atom dan molekuler.

Konduksi digambarkan sebagai perpindahan panas yang terjadi dari partikel yang berenergi lebih tinggi ke partikel yang berenergi lebih rendah dari suatu media sebagai akibat dari interaksi antar partikel tersebut. Gambar 2.2 memperlihatkan mekanisme tersebut. Pada gambar tersebut dapat dilihat bahwa partikel-partikel bergerak secara acak sehingga memungkinkan satu partikel bersinggungan dengan partikel yang lain. Sehingga apabila yang bersinggungan tersebut partikel yang berbeda tingkat energinya maka perpindahan panas pasti terjadi. Jika $T_1 > T_2$ maka akan terjadi perpindahan panas ke arah sumbu x positif. Karena perpindahan panas konduksi terjadi akibat gerakan acak partikel maka juga disebut difusi energi.



Gambar 2. 2 Perpindahan panas konduksi dengan difusi energi akibat aktivitas molekular (*Ref.1 hal 3*)

Untuk menghitung laju perpindahan diperlukan persamaan yang sesuai dengan mode dari perpindahan panas tersebut. Persamaan laju perpindahan panas konduksi satu dimensi pada dinding datar dikenal dengan persamaan (hukum) Fourier. Pada gambar 2.2 jika $T_1 > T_2$ maka ada distribusi temperatur ke arah sumbu x $T(x)$, persamaan laju perpindahan panas adalah: $q'' = -k \frac{dT}{dx}$

$$q = -k \frac{dT}{dx} \text{ dimana } q : \text{laju perpindahan panas (W)}$$

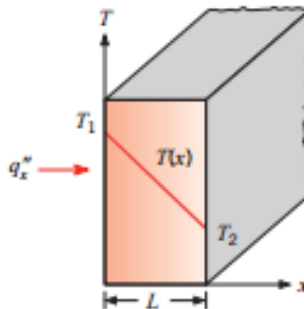
Keterangan :

q'' : fluks panas (W/m^2) adalah laju perpindahan panas kearah sumbu x positif per unit luasan yang tegak lurus arah perpindahan panas.

$\frac{dT}{dx}$: gradient temperatur

k : konduktivitas panas ($\text{W/m}^\circ\text{K}$) adalah karakteristik individu material dinding. Tanda minus adalah konsekuensi bahwa panas berpindah dari lokasi yang bertemperatur tinggi ke yang lebih rendah. Jika distribusi temperatur linier maka:

$$q = -kA \frac{T_2 - T_1}{L}$$

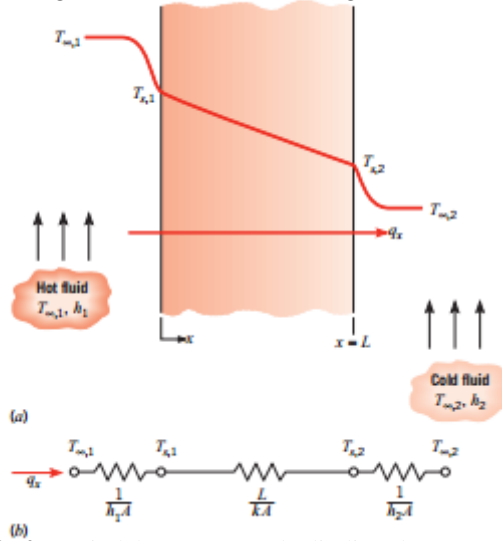


Gambar 2. 3 Konduksi satu dimensi steady state (*Ref. 1 hal 4*)

2.1.2 Konduksi Satu Dimensi Dinding Datar

Konduksi satu dimensi pada dinding datar, distribusi temperatur hanya kearah satu sumbu saja misalnya sumbu x , sehingga perpindahan panas hanya terjadi kearah sumbu x saja.

Pada gambar 2.3 terlihat panas berpindah secara konveksi dari udara di bagian dalam ke dinding dalam, kemudian dilanjutkan dengan konduksi dari dinding dalam ke dinding luar, lalu diteruskan lagi dengan konveksi dari dinding luar ke udara luar.



Gambar 2. 4 Perpindahan panas pada dinding datar (*Ref.1 hal 97*)

Distribusi temperatur pada dinding dapat diperoleh dengan menyelesaikan persamaan difusi panas berikut ini:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{dT}{dx} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k \frac{dT}{dy} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{dT}{dz} \right) + q^o = 0$$

Untuk konduksi satu dimensi ke arah sumbu x dan tanpa ada pembangkitan panas maka:

$$\frac{d}{dx} \left(k \frac{dT}{dx} \right) = 0 \quad \text{jika konduktivitas termal dinding dianggap}$$

konstan, lalu diintegrasikan dua kali maka didapat solusi:

$$T(x) = C_1 x + C_2$$

Konstanta C dicari dengan kondisi batas berikut:

$$T(x=0) = T_1 \text{ dan } T(x=L) = T_2$$

jadi: $T_1 = C_2$ dan $T_2 = C_1L + C_2$ atau $T_2 = C_1L + T_1$ sehingga

$$\text{diperoleh: } C_1 = \frac{T_2 - T_1}{L}$$

substitusi C_1 dan C_2 ke persamaan 2 didapatkan:

$$T(x) = (T_2 - T_1) \frac{x}{L} + T_1$$

Laju perpindahan panas dihitung hukum *fourier* (Conduction rate equation):

$$q'' = -k \nabla T = -k \left(i \frac{\partial T}{\partial x} + j \frac{\partial T}{\partial y} + k \frac{\partial T}{\partial z} \right)$$

$$q''_x = -k \frac{dT}{dx}, \quad q''_y = -k \frac{dT}{dy}, \quad q''_z = -k \frac{dT}{dz}$$

Konduksi satu dimensi ke arah sumbu X saja (gambar 2.4):

$$q_x = -kA \frac{dT}{dx} \rightarrow q_x \int_{x_1}^{x_2} dx = -kA \int_{r_1}^{r_2} dT \rightarrow q_x = \frac{kA}{L} (T_2 - T_1)$$

Untuk kasus perpindahan panas seperti tersebut diatas peristiwa difusi panas dianalogikan dengan aliran arus listrik dan hambatan listrik dianalogikan dengan perpindahan panas, serta beda potensial dianalogikan dengan beda temperatur.

$$R_{kond} = \frac{\Delta T}{q} = \frac{L}{k.A}$$

Sebaliknya laju perpindahan panas dapat ditulis:

$$q_{kond} \frac{\Delta T}{R_{kond}} = \frac{(T_2 - T_1)}{R_{kond}}$$

R_{kond} disebut hambatan perpindahan panas konduksi. Analisis yang sama jika diterapkan pada kasus konveksi, maka didapat hambatan perpindahan panas konveksi R_{konv} :

$$q = hA(T_s - T_\infty)$$

$$R_{konv} = \frac{\Delta T}{q} = \frac{1}{hA}$$

Dan laju perpindahan panas konveksi ditulis:

$$q_{konv} = \frac{\Delta T}{R_{konv}} = \frac{(T_s - T_\infty)}{R_{konv}}$$

Dalam suatu rangkaian hambatan listrik arus yang mengalir di tiap-tiap hambatan sama, dan analoginya laju perpindahan panas pada tiap-tiap hambatan perpindahan panas juga sama, maka:

$$q_x = \frac{(T_{\infty 1} - T_1)}{\frac{1}{h_{\infty 1}}} = \frac{(T_2 - T_1)}{\frac{L}{kA}} = \frac{(T_2 - T_{\infty 2})}{\frac{1}{h_{\infty 1}}}$$

Dan juga dapat ditulis dalam bentuk beda temperatur total:

$$q_x = \frac{(T_{\infty 1} - T_{\infty 2})}{R_{tot}} = \frac{\Delta T}{R_{tot}} \text{ dimana:}$$

$$R_{tot} = \frac{1}{h_{\infty 1}A} + \frac{L}{kA} + \frac{1}{h_{\infty 2}A}$$

R_{tot} disebut hambatan perpindahan panas keseluruhan (*overall heat transfer resistant*)

$$q_x = UA\Delta T$$

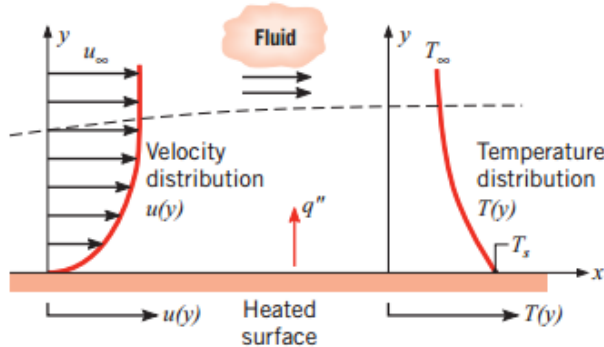
$$UA = \frac{1}{R_{tot}} = \frac{1}{\frac{1}{h_{\infty 1}A} + \frac{L}{kA} + \frac{1}{h_{\infty 2}A}}$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_{\infty 1}} + \frac{L}{k} + \frac{1}{h_{\infty 2}}}$$

U disebut koefisien perpindahan panas keseluruhan.

2.1.3 Perpindahan Panas Konveksi

Perpindahan panas konveksi didukung oleh gerakan acak molekuler dan gerakan makroskopik dari fluida diantara permukaan dan lapisan batas. Kontribusi dari gerak acak molekuler (difusi) biasanya lebih dominan di daerah dekat dengan permukaan padat dimana pada daerah tersebut kecepatan aliran makroskopiknya nol. Jadi pada daerah tersebut ($y=0$) panas dipindahkan melalui mekanisme gerak acak molekuler. Kontribusi dari gerakan makroskopik fluida, dimulai pada daerah dimana sudah terjadi pertumbuhan lapisan batas, yang artinya kecepatan aliran fluida (kearah sumbu x) meningkat sedikit lebih besar dari nol.



Gambar 2. 5 Pertumbuhan lapisan batas pada perpindahan panas konveksi (*Ref.1 hal 6*)

Perpindahan panas konveksi juga dikategorikan berdasarkan penyebab terjadinya aliran fluida. Jika aliran fluida yang terjadi disebabkan oleh faktor eksternal seperti:

pompa, *fan/blower* atau juga angin pada udara atmosfer maka perpindahan panas konveksi yang terjadi disebut konveksi paksa. (*forced convection*). Jika aliran fluida dihasilkan oleh tarikan gaya buoyancy yang dihasilkan oleh adanya variasi massa jenis fluida, (variasi massa jenis dihasilkan oleh adanya perbedaan temperatur antara satu lokasi dengan lokasi yang lain dalam satu wadah) maka disebut konveksi bebas atau konveksi alam.

Untuk menghitung fluks panas konveksi dapat menggunakan sebuah persamaan yang dikenal dengan nama *NEWTON'S LAW OF COOLING* yaitu:

$$q'' = h(T_s - T_\infty)(w/m^2)$$

$$q = hA(T_s - T_\infty)(watt)$$

Keterangan :

q'' : fluks panas konveksi, (W/m²)

q : laju perpindahan panas konveksi, (w/m²°K)

T_s : temperatur permukaan padat, (K)

T_∞ : temperatur rata-rata fluida, (K)

h : koefisien perpindahan panas konveksi (disebut juga konduktansi film/lapisan fluida, (W/m² °K)

Koefisien perpindahan panas konveksi tersebut tergantung pada kondisi lapisan batas yang tergantung pada geometri permukaan, penyebab terjadinya aliran fluida, dan sifat-sifat termodinamika dari fluida. Untuk menyelesaikan beberapa persoalan perpindahan panas konveksi koefisien h harus diketahui. Untuk patokan harga h dapat dilihat pada tabel 2.1 berikut :

Tabel 2. 1 harga tipikal dari koefisien perpindahan panas konveksi

No	Terminologi	$h(\text{W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{K})$
1	Konveksi bebas	5-----25
2	Konveksi Paksa	
	Gas	25-----250
	Cair	50-----20.000
3	Konveksi dengan perubahan fasa	
	Mendidih	2500---100.000
	Kondensasi	2500---100.000

2.1.4 Konveksi Paksa

Disebut konveksi paksa apabila aliran yang terjadi ditimbulkan oleh beberapa peralatan bantu seperti *blower*, pompa, kompresor, dan lain-lain. Konveksi alamiah adalah aliran fluida yang terjadi semata-mata karena adanya perbedaan massa jenis fluida yang disebabkan oleh perbedaan temperatur. Korelasi konveksi alamiah atau konveksi bahan ada 2 yaitu :

1. Korelasi Plat Vertikal

Apabila plat tersebut dipanaskan maka terbentuklah suatu lapisan batas konveksi bebas. Pada dinding kecepatan adalah nol, karena terdapat kondisi tanpa gelincir (no slip), kecepatan itu bertambah terus sampai nilai maksimum dan kemudian menurun lagi hingga nol tapi pada tepi lapisan batas atas, karena kondisi arus bebas. Perkembangan awal lapisan batas adalah laminar, namun pada sifat-sifat fluida dan beda suhu antara dinding dan lingkungan, terbentuklah pusaran-pusaran dari transisi ke lapisan turbulen.

Pada sistem konveksi bebas dapat dijumpai bilangan tak berdimensi yang disebut bilangan *Grashof* (Gf).

Grashof (Gf)

$$Gr_L = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\nu^2}$$

Dan *Rayleigh Number* (Ra_L)

$$Ra_L = Gr_L \Pr = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\nu\alpha}$$

Dimana :

Pr = Bilangan *Prandtl*

g = Percepatan gravitasi, (m/s^2)

L = Panjang Karakteristik, (m)

ν = Viskositas Kinematik, (m^2/s)

β = Koefisien ekspansi volume, ($1/t_f$), (K^{-1})

α = Difusivitas Thermal, (m^2/s)

Dimana semua properties dievaluasi pada temperatur film (T_f).

Untuk menganalisa konveksi bebas pada plat datar harus ditentukan dulu harga koefisien perpindahan panas konveksi *Nusselt Number*.

- Untuk aliran laminar : $10^{-1} < Ra_L < 10^9$

$$\overline{Nu}_L = 0,68 + \frac{0,67 Ra_L^{\frac{1}{4}}}{\left[1 + (0,492 / Pr)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{4}{9}}}$$

- Untuk aliran turbulen : $10^{-1} < Ra_L < 10^{12}$

$$\overline{Nu}_L = \left\{ 0,825 + \frac{0,387 Ra_L^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + (0,492 / Pr)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right\}^2$$

Sehingga :

$$h = \frac{\overline{Nu_L} k}{L}$$

Dimana :

- h = Koefisien perpindahan panas konveksi, $(w/m^2 \cdot K)$ $\overline{Nu_L}$
 = *Nusselt Number*
 k = konduktivitas thermal, $(w/m \cdot K)$
 L = Tinggi Dinding, (m)

2. Korelasi pada Plat Horizontal

Nusselt Number rata-rata untuk konveksi bebas tergantung pada apakah permukaan plat panas menghadap ke atas (*hot surface facing up*) atau menghadap ke bawah (*hot surface facing down*) dan apakah permukaan plat lebih panas atau lebih dingin daripada fluida di sekitarnya.

- Untuk plat horizontal dengan permukaan panas menghadap ke atas (*hot surface facing up*)

$$1) \quad \overline{Nu_L} = 0,54 Ra_L^{\frac{1}{4}} \quad (10^4 \leq Ra_L \leq 10^7)$$

$$2) \quad \overline{Nu_L} = 0,15 Ra_L^{\frac{1}{3}} \quad (10^7 \leq Ra_L \leq 10^{11})$$

- Untuk plat horizontal dengan permukaan panas menghadap ke bawah (*hot surface facing down*)

$$\overline{Nu_L} = 0,27 Ra_L^{\frac{1}{4}} \quad (10^5 \leq Ra_L \leq 10^{10})$$

Sehingga :

$$h = \frac{\overline{Nu_L} k}{L}$$

Dimana :

- h = koefisien perpindahan panas konveksi, $(w/m^2 \cdot K)$
 $\overline{Nu_L}$ = *Nusselt Number*
 k = konduktivitas thermal, $(w/m^2 \cdot K)$
 L = panjang karakteristik, (m)

Panjang karakteristik pada plat horizontal dapat diambil sebagai panjang sisi untuk persegi, setengah lebar plat untuk plat persegi panjang.

$$L = \frac{A}{P} = \frac{W}{2}$$

Dimana :

L = Panjang karakteristik, (m)

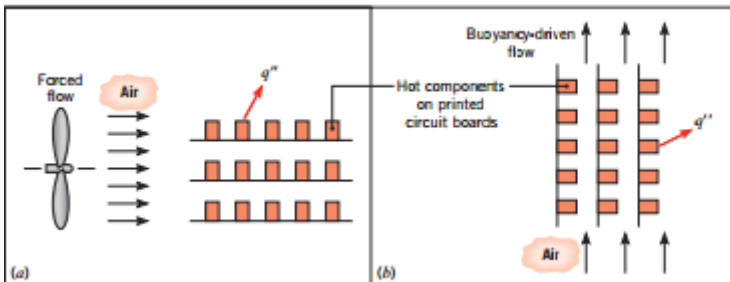
A = Luas permukaan plat, (m^2)

P = Keliling plat (perimeter), (m)

w = Lebar dinding, (m)

Laju perpindahan panas konveksi dicari dengan hukum pendinginan Newton (*NEWTON'S LAW OF COOLING*) seperti yang telah dijelaskan pada penjelasan perpindahan panas konveksi, yaitu :

$$q = hA(T_s - T_\infty)$$



Gambar 2. 6 Perpindahan panas konveksi (Ref. 1 hal 7)

2.1.5 Konveksi Eksternal

Perpindahan panas konveksi merupakan salah satu proses perpindahan panas yang cukup rumit karena dipengaruhi oleh banyak faktor. Koefisien konveksi dipengaruhi oleh; orientasi arah aliran terhadap obyek, ukuran (D :diameter dan A :luas permukaan) dan bentuk obyek (plat datar, silinder, bola),

konduktivitas panas lapisan fluida (k), massa jenis fluida (ρ), kekentalan (μ : viskositas absolut) fluida, dan juga kapasitas panas jenis fluida pada tekanan konstan (c_p). Faktor-faktor tersebut dituangkan dalam: bilangan *Nusselt*, bilangan *Reynolds*, dan bilangan *Prandtl*, yang merupakan bilangan tak berdimensi hasil riset mereka khususnya dalam menemukan persamaan empiris untuk memprediksikan koefisien konveksi. Bilangan *Reynold* (Re) merupakan suatu perbandingan antara gaya inersia dengan gaya gesek dari fluida tersebut yang besarnya adalah:

$$Re = \frac{VL}{\nu}$$

Dimana:

V = Kecepatan Fluida, (m/s)

L = Panjang lintasan, (m)

ν = Viskositas Kinematik, (m^2/s)

Bilangan *Prandtl* (Pr) adalah suatu parameter yang menunjukkan perbandingan antara viskositas kinematik dan difusifitas thermal dari fluida. Viskositas kinematik fluida memberikan informasi tentang laju difusi momentum dalam fluida karena gerak molekul, difusi thermal memberikan informasi tentang hal serupa mengenai difusi panas dalam fluida. Jadi perbandingan antara kedua kuantitas itu menunjukkan besaran relatif antara difusi momentum dan difusi kalor di dalam fluida. Besarnya bilangan Prandtl adalah:

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} = \frac{\mu}{\rho} \frac{\rho C_p}{k} = \frac{C_p \mu}{k}$$

Dimana:

ν = Viskositas Kinematik, (m^2/s)

C_p = Konstanta panas spesifik pada tekanan konstan, ($J/kg^\circ K$)

ρ = *Density fluida*, (kg/m^3)

k = Konduktivitas panas fluida, ($W/m^\circ K$)

μ = Viskositas *absolute*, (kg/s.m)

Untuk menentukan koefisien perpindahan panas konveksi digunakan bilangan Nusselt yang didapat dari percobaan/analisis. Bilangan Nusselt didefinisikan sebagai:

$$\overline{Nu_L} = \frac{\bar{h}L}{K_f}$$

Dimana:

$\overline{Nu_L}$ = Bilangan *Nusselt*

\bar{h} = Koefisien perpindahan panas konveksi, (w/m²°K)

K_f = Konduktivitas fluida, (W/m°K)

Bilangan Nusselt merupakan fungsi dari medan aliran yaitu bilangan *Reynold* (Re) dan bilangan *Prandtl* (Pr). Hubungan antara $\overline{Nu_L}$ dengan *Re* dan *Pr* tergantung dari bentuk aliran dan lintasan.

Hubungan ini biasanya didapat dengan percobaan, misalnya:

- Untuk aliran laminar melintasi plat datar

$$\overline{Nu_L} = 0,664 Re^{\frac{1}{2}} x Pr^{\frac{1}{3}}$$

- Untuk aliran turbulen

$$\overline{Nu_L} = 0,0296 Re^{\frac{4}{5}} x Pr^{\frac{1}{3}}$$

Keanalogisan antara perpindahan perpindahan panas konveksi dan perpindahan massa konveksi menjadikan parameter untuk menghitung perpindahan massa konveksi. Bilangan *Sherwood* didefinisikan sebagai:

$$\overline{S_{hl}} = \frac{\bar{h}mL}{D_{AB}}$$

Dimana:

$\overline{S_{hl}}$ = Bilangan *Sherwood*

$\bar{h}m$ = Koefisien perpindahan panas konveksi, (m/s)

L = Panjang karakteristik, (m)

D_{AB} = Difusifitas massa fluida, (m^2/s)

Bilangan *Sherwood* merupakan fungsi dari medan aliran yaitu bilangan *Reynold* (Re) dan bilangan *Schmidt* (Sc).

- Untuk aliran laminar melintasi plat datar

$$\overline{S_{hl}} = 0,664 \text{Re}^{\frac{1}{2}} x \text{Sc}^{\frac{1}{3}}$$

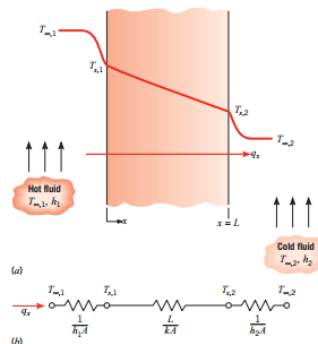
- Untuk aliran turbulen melintasi plat datar

$$\overline{S_{hl}} = 0,296 \text{Re}^{\frac{1}{2}} x \text{Sc}^{\frac{1}{3}}$$

2.1.6 Perpindahan Panas Gabungan

Di dalam praktek perpindahan panas yang terjadi terjadi tidak hanya dalam satu mekanisme saja melainkan terjadi secara gabungan antara konduksi, konveksi, dan radiasi maupun ketiga mekanisme tersebut.

Perpindahan panas gabungan antara konduksi dengan konveksi seperti gambar di bawah ini akan lebih mudah menentukannya jika dengan menggunakan metode *thermal resistant* (R). Karena dengan tanpa mengetahui temperature permukaan benda ($T_{s,1}$ dan $T_{s,2}$) besarnya perpindahan panas dapat diketahui.



Gambar 2. 7 Perpindahan panas antara konduksi dan konveksi (*Ref.1 hal 97*)

Maka laju perpindahan panas adalah sebagai berikut ini:

$$qx = \frac{T_{\infty,1} - T_{\infty,2}}{R_{tot}}$$

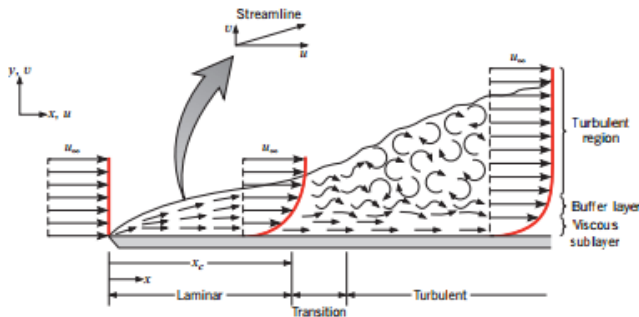
$$R_{tot} = \frac{1}{h_1 A} + \frac{1}{KA} + \frac{1}{h_2 A}$$

Dimana:

- R_{tot} = tahanan total panas, ($^{\circ}K/w$)
- $T_{\infty,1}$ = temperatur fluida 1, ($^{\circ}C$)
- $T_{\infty,2}$ = temperatur fluida 2, ($^{\circ}C$)
- h_1 = koefisien konveksi fluida 1, ($w/m^2^{\circ}K$)
- h_2 = koefisien konveksi fluida 2, ($w/m^2^{\circ}K$)
- A = luas permukaan perpindahan panas, (m^2)

2.1.7 Konveksi Pada Plat Datar (Aliran Sejajar Plat)

Dalam memperlakukan setiap persoalan konveksi, langkah pertama yang diambil adalah menentukan aliran tersebut laminar atau turbulen. Pada perhitungan sifat lapisan batas, sering digunakan untuk mengansumsikan bahwa transisi terjadi pada lokal X_c . Bilangan *Reynolds* kritis adalah nilai dari Re pada transisi yang terjadi untuk aliran luar bilangan tersebut diketahui bervariasi dari 10^5 sampai 3×10^6 , tergantung pada kekasaran permukaan. Berdasarkan kecepatannya aliran fluida dibagi menjadi dua yaitu aliran laminar dan aliran turbulen. Secara empiris dapat diidentifikasi dari bilangan Reynolds yaitu sebesar $Re = 5 \times 10^5$. Jika harga $Re < 5 \times 10^5$ berarti aliran laminar, $5 \times 10^5 < Re < 5 \times 10^8$ disebut aliran transisi sedangkan jika $Re > 5 \times 10^8$ berarti termasuk aliran turbulen.



Gambar 2. 8 Pengembangan lapisan batas kecepatan pada plat datar (Ref.1 hal 359)

1. Aliran Laminer dan Turbulen

Berdasarkan gambar 2.8 pergerakan fluida memanjang garis *streamline* dikarakteristikan oleh komponen kecepatan pada kedua arah x dan y . Karena komponen kecepatan V adalah normal pada permukaan, maka komponen tersebut dapat memberikan kontribusi yang cukup pada perpindahan momentum, energi, dan spesies melalui lapisan batas. Perpindahan fluida normal pada permukaan adalah diperlukan oleh pertumbuhan lapisan batas arah x .

Berbeda dengan pergerakan fluida pada lapisan batas turbulen yang sangat tidak teratur dan dikarakteristik oleh fluktuasi kecepatan. Fluktuasi ini menambah perpindahan momentum, energi, dan spesies. Karena itu menambah laju perpindahan konveksi. Sebagai akibat hasil percampuran dari fluktuasi, ketebalan lapisan batas turbulen adalah lebih besar dari profil lapisan batas kecepatan, lapisan batas temperatur, dan batas konsentrasi. Adalah lebih datar daripada lapisan laminar.

Untuk pengembangan lapisan batas pada plat datar. Lapisan batas mula-mula laminar, tetapi untuk satu jarak dari ujung, transisi ke aliran turbulen mulai terjadi fluktuasi fluida untuk

berkembang pada daerah transisi dan lapisan batas akhirnya menjadi turbulen penuh. Perpindahan menjadi turbulen diikuti oleh kenaikan yang cukup berarti pada ketebalan lapisan batas, tahanan geser dinding, dan koefisien konveksi

Pada lapisan batas turbulen, tiga daerah berbeda dapat dilukiskan. Pada laminar sublayer, transport didominasi oleh difusi dan profil kecepatan adalah mendekati linier dan pada lapisan daerah turbulen transport didominasi oleh campuran turbulen.

2.1.8 Rapat Massa dan Volume Spesifik

Rapat massa (ρ) dari suatu fluida adalah massa yang mengisi satu satuan volume, sebaliknya volume spesifik (v) adalah volume yang diisi oleh satu satuan massa. Rapat massa dan volume spesifik saling berkaitan satu sama lain. Rapat massa udara pada tekanan atmosfer standar dengan suhu 25°C mendekati 1,2 kg/m³.

2.1.9 Kalor Spesifik

Kalor spesifik dari suatu bahan bakar adalah jumlah energi yang diperlukan untuk menaikkan suhu satuan massa bahan tersebut sebesar 1°K. Dua besaran yang umum adalah kalor spesifik pada volume tetap (C_v) dan kalor spesifik pada tekanan konstan (C_p). Besaran yang kedua banyak dipakai pada proses pemanasan dan pendinginan.

2.1.10 Perpindahan Massa

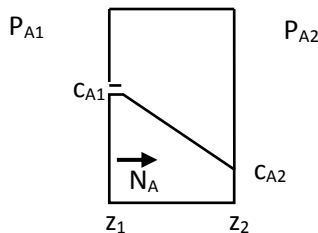
Bentuk perpindahan massa secara garis besar dapat dibagi menjadi dua macam yaitu:

1. Perpindahan massa secara konveksi
 2. Perpindahan massa yang diakibatkan oleh difusi
- Perpindahan massa jenis umumnya sebagai akibat perbedaan konsentrasi komponen yang terdapat pada campuran. Gradien konsentrasi cenderung untuk menggerakkan

komponen dengan arah sedemikian rupa agar dicapai keseimbangan konsentrasi dan menghilangkan gradien tersebut. Walaupun difusi biasanya diakibatkan oleh gradien konsentrasi, didapat juga diakibatkan oleh paksaan dari luar. Difusi molekular yang timbul sebagai gradien tekanan, oleh temperatur tersebut disebut difusi thermal dan oleh gaya luar disebut difusi paksa. Difusi adalah aliran zat fisik, yang terjadi pada kecepatan yang terbatas. Komponen yang berdifusi umumnya meninggalkan ruang di belakangnya dan ruang baru harus ditentukan untuk lokasi barunya.

2.1.11 Difusi pada Lapisan Permeabel

Difusi uap pada suatu solid dipengaruhi oleh koefisien difusi antara uap dan solid serta perbedaan konsentrasi antara uap yang masuk dengan uap yang keluar solid.



Gambar 2. 9 Difusi pada lapisan permeabel (*Ref. 3 hal 29*)

Tetapi untuk beberapa kasus dimana solid merupakan suatu lapisan permeabel maka persamaan difusi fluks massa yang digunakan bukanlah sebagai fungsi koefisien difusi, melainkan sebagai fungsi permeabilitas antara solid dengan uap atau gas yang melewati lapisan permeabel tersebut.

Adapun persamaan fluks difusi massa yang melewati lapisan permeabel solid yang diberikan oleh *fick's* adalah:

$$N_A'' = \frac{P_m}{22,414} \frac{P_{A,1} - P_{A,2}}{Z_2 - Z_1}$$

Dimana:

N_a'' = difusi fluks massa, (kgmol/sm^2)

P_m = permeabilitas uap/gas dengan solid, (m^3sm^2), (atm/m)

$P_{A,1}$ = tekanan uap/gas masuk lapisan permeabel, (atm)

$P_{A,2}$ = tekanan uap/gas masuk lapisan permeabel, (atm)

$Z_2 - Z_1$ = tebal lapisan permeabel, (m)

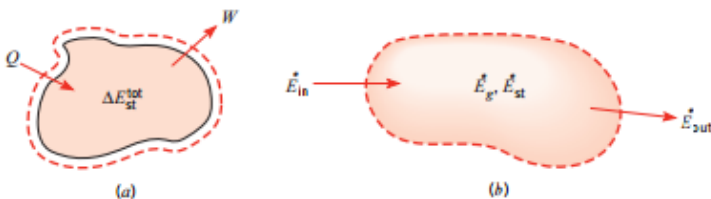
2.2 Kekekalan Energi

Analisis perpindahan panas merupakan perluasan dari thermodynamika yang memperhatikan laju perpindahan energi. Selanjutnya dalam menganalisis perpindahan panas *Hukum I Thermodynamika* (hukum kekekalan energi) memegang peranan penting dalam melakukan analisis

2.2.1 Kekekalan Energi Volume Atur

Untuk melakukan analisa perpindahan panas perlu melakukan identifikasi volume atur yaitu melakukan pembatasan terhadap daerah yang dilalui energi dengan mengacu pada *Hukum I Thermodynamika*, maka kekekalan energi volume atur dapat didefinisikan sebagai:

“Laju energi thermal dan mekanika yang memasuki volume atur dikurangi dengan laju energi yang meninggalkan volume atur sama dengan energi yang tersimpan di dalam energi atur”



Gambar 2. 10 Kekekalan energi volume atur (*Ref. 1 hal 13*)

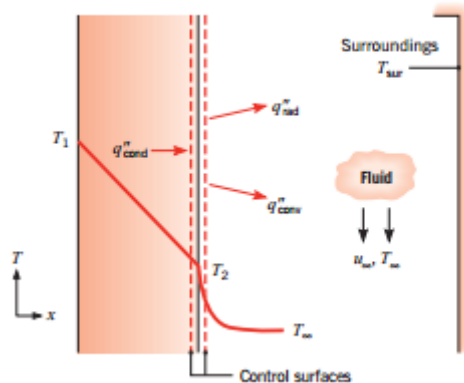
Notasi untuk energi yang masuk meninggalkan volume atur adalah E_{st} . Bentuk umum dari kekekalan energi dapat dinyatakan:

$$E_{in} + E_g - E_{out} = E_{st}$$

2.2.2 Kesenimbangan Energi Permukaan

Pada kasus khusus dimana permukaan atur tidak mempunyai massa/volume dan tidak berhubungan dengan energi bangkitan, serta syarat kekekalan energi berlaku untuk keadaan tunak (*steady state*) dan kondisi transisi (*transient*), maka:

$$E_{in} = E_{out}$$



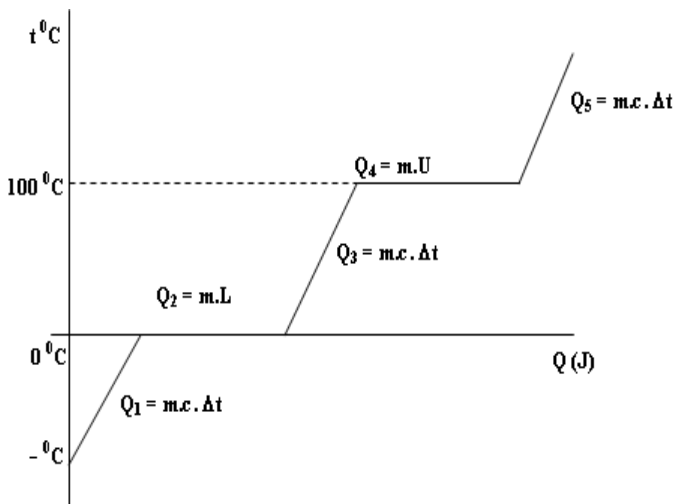
Gambar 2. 11 Kekekalan energi permukaan sebuah media (*Ref. 1 hal 25*)

Pada gambar di atas ditunjukkan tiga bentuk perpindahan panas permukaann atur dengan basis persatuan luas. Ketiga bentuk tersebut adalah konduksi dari media ke permukaan luar, konveksi dari permukaan ke fluida, dan pertukaran radiasi netto dari permukaan ke sekeliling. Sehingga kesetimbangan energi gambar di atas adalah:

$$q''_{konduksi} - q''_{konveksi} - q''_{radiasi} = 0$$

2.3 Perpindahan Panas Kalor Sensibel dan Kalor Laten

Kalor adalah salah satu bentuk energi. Jika suatu zat menerima atau melepaskan kalor, maka ada dua kemungkinan yang terjadi. Yang pertama adalah terjadinya perubahan temperatur zat tersebut, kalor yang seperti ini disebut dengan kalor sensibel (*sensible heat*), yang kedua terjadi karena perubahan fase zat, kalor jenis ini disebut dengan kalor laten (*latent heat*)



Gambar 2. 12 Perpindahan Fasa Kalor Laten dan Kalor Sensible
(Ref. 4)

2.3.1 Kalor Sensibel (*Sensible Heat*)

Apabila suatu zat menerima kalor sensibel maka akan mengalami peningkatan temperatur, namun jika zat tersebut melepaskan kalor sensibel maka akan mengalami penurunan temperatur. Persamaan kalor sensibel adalah sebagai berikut:

$$Q = m. C_p. \Delta T$$

Dimana:

- Q = Energi kalor yang dilepas atau diterima suatu zat, (J)
 m = Massa zat yang mengalami perubahan temperatur, (kg)
 C_p = Kalor jenis zat, (J/kg.K)
 ΔT = Perubahan temperatur yang terjadi, (K)

2.3.2 Kalor Laten (Latent Heat)

Jika suatu zat menerima atau melepaskan kalor, pada awalnya akan terjadi perubahan temperatur, namun demikian hal tersebut suatu saat akan mencapai keadaan jenuhnya dan menyebabkan perubahan fase. Kalor yang demikian itu disebut sebagai kalor laten. Pada suatu zat terdapat dua macam kalor laten, yaitu kalor laten peleburan atau pembekuan dan kalor laten penguapan atau pengembunan. Pada tugas akhir ini menggunakan kalor laten penguapan. Kalor laten biasanya lebih besar dari kalor sensibelnya, hal ini karena diperlakukan energi yang besar untuk merubah fase suatu zat.

Secara umum kalor laten yang digunnakann untuk mengubah fase suatu zat dirumuskan dengan:

$$Q = m \cdot h_l$$

Dimana:

Q = Energi kalor yang dilepas atau diterima suatu zat, (J)

h_l = Kalor laten, (kJ/kg)

Jika udara mengalir melewati suatu permukaan basah, akan terjadi perpindahan kalor sensibel dan kalor laten secara bersamaan. Bila terdapat perbedaan suhu antara udara dan permukaan basah tersebut akan terjadi perpindahan kalor sensibel dan kalor laten secara bersamaan. Bila terdapat perbedaan suhu antara permukaan basah tersebut amaka kalor akan dipindahkan. Bila terdapat perbedaan suhu antara permukaan basah tersebut maka kalor akan dipindahkan. Bila terdapat temperatur pada temperatur antara tekanan parsial uap air di udara dan tekanan

parsial uap air pada permukaan basah, maka akan terjadi perpindahan massa uap air. Perpindahan massa ini menyebabkan perpindahan panas juga, karena pada saat air mengembun, kalor laten harus dikeluarkan dari air tersebut. Sebaliknya jika sejumlah cairan menguap dari lapisan permukaan basah, maka harus diberikan kalor penguapan pada air tersebut.

2.4 Pengeringan

Pengeringan merupakan cara untuk menghilangkan sebagian besar air dari suatu bahan dengan bantuan energi panas dari sumber alam (sinar matahari) atau buatan (alat pengering). Pada proses pengeringan selalu diinginkan kecepatan pengeringan yang maksimal. Perlu dilakukan usaha-usaha untuk mempercepat pindah panas dan pindah massa (dalam hal ini perpindahan air keluar dari bahan yang dikeringkan dalam proses pengeringan tersebut). Ada beberapa faktor yang perlu diperhatikan untuk memperoleh kecepatan maksimum, yaitu :

1. Luas permukaan

Semakin luas permukaan bahan yang dikeringkan maka semakin cepat bahan menjadi kering.

2. Suhu

Semakin tinggi suhu udara pengering maka semakin besar energi panas yang dibawa ke udara karena menyebabkan proses pindah panas semakin cepat sehingga pindah massa akan berlangsung cepat.

3. Kecepatan udara

Udara yang bergerak akan mengambil uap air yang terdapat pada permukaan bahan. Udara yang bergerak adalah udara yang mempunyai kecepatan tinggi yang berguna mengambil uap air dan menghilangkan uap air dari bahan yang dikeringkan.

4. Kelembaban udara

Semakin kering udara (tidak lembab) maka semakin cepat proses pengeringan berlangsung. Karena udara kering dapat mengadsorpsi dan menahan uap air.

5. Waktu

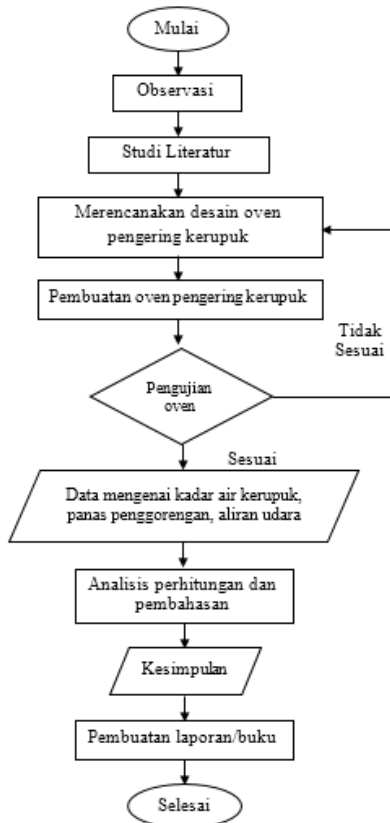
Semakin lama waktu pengeringan, maka semakin cepat proses pengeringan selesai. Apabila temperatur tinggi maka pengeringan akan cepat selesai.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 3 METODOLOGI

3.1 Diagram alir (flow chart)

Berikut ini adalah diagram alir (flow chart) proses pembuatan oven pengering kerupuk:



Gambar 3. 1 Flow chart metodologi pengerjaan oven pengering kerupuk

3.2 Penjelasan Diagram Alir Proses Pembuatan Oven Pengering Kerupuk

Proses pengerjaan tugas akhir oven pengering kerupuk melalui beberapa tahap sebagai berikut:

a. Observasi

Observasi bertujuan untuk mengumpulkan data di lapangan mengenai proses pengeringan kerupuk dengan pemanfaatan sinar matahari. Kemudian, mendata permasalahan-permasalahan dari proses pengeringan kerupuk dengan cara menjemur di bawah terik panas sinar matahari. Kemudian permasalahan-permasalahan didapatkan tersebut dirumuskan sehingga menjadi rumusan masalah.

Hasil observasi pada pembuat jajanan kerupuk di daerah Wonocolo, Sidoarjo milik bapak Mundzir, proses pengeringan kerupuk memanfaatkan sinar matahari seperti terlihat pada gambar 3.2. Dari hasil wawancara, waktu yang dibutuhkan untuk sekali penjemuran kerupuk adalah minimal $\pm 4-5$ jam di bawah terik sinar matahari.



Gambar 3. 2 Proses Pengeringan kerupuk dengan pemanfaatan sinar matahari

Pada proses penggorengan kerupuk, panas yang dihasilkan terbuang dengan sia-sia. Hal ini juga menyebabkan ruangan yang digunakan untuk menggoreng kerupuk menjadi panas. Kemudian ventilasi udara yang kurang menyebabkan ruangan menjadi tambah pengap.



Gambar 3. 3 Proses penggorengan kerupuk. Proses Penggorengan kerupuk di tempat pembuatan jajanan kerupuk bapak Mundzir dilakukan di ruangan yang sempit dan ventilasi udara yang kurang baik.



Gambar 3. 4 Tempat pengering kerupuk sederhana dengan pemanfaatan panas uap penggorengan.

Pada musim penghujan, matahari tidak selalu bersinar dengan terik sehingga menyebabkan waktu penjemuran menjadi lebih lama. Sehingga untuk mengeringkan kerupuk membutuhkan 2-3 kali penjemuran. Tentu dengan keadaan seperti ini dapat menghambat produksi jajanan kerupuk milik bapak Mundzir. Untuk mengantisipasinya, maka dibuat tempat untuk mengeringkan kerupuk dengan memanfaatkan panas dari uap minyak goreng pada proses penggorengan kerupuk yang terbuat dari jaring besi dengan penyangga yang terbuat dari kayu seperti pada gambar 3.4.

b. Studi Literatur

Pada studi literatur, hal yang dilakukan adalah mencari dan mempelajari bahan pustaka yang berkaitan dengan permasalahan-permasalahan yang diperoleh dari observasi di lapangan mengenai kadar air pada kerupuk sebelum digoreng, panas uap yang dihasilkan dari proses penggorengan kerupuk, aliran udara panas, dan cara mengalirkan udara panas, di sini udara panas dialirkan menggunakan *exhaust fan*.

Studi literatur diperoleh dari berbagai sumber antara lain *text book*, diktat yang mengacu pada referensi, tugas akhir yang berkaitan, juga tambahan dari media internet. Data yang didapatkan dari studi literatur digunakan sebagai dasar perencanaan pembuatan dan pengujian unjuk kerja oven pengering kerupuk untuk kapasitas 6 kg.

Referensi yang digunakan antara lain adalah *text book* perpindahan panas dengan judul *fundamental of heat and mass transfer* dan Tugas Akhir Dian Hidayati, mahasiswi D3 Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dengan judul “Uji Eksperimental Pengaruh Buka-an Cerobong pada Oven Terhadap Kecepatan Pengeringan Kerupuk Rengginang (2013)”. Materi pada *text book* digunakan sebagai referensi tinjauan pustaka dan dasar perhitungan pada bab II. Sedangkan tugas akhir yang membahas pengaruh bukaan cerobong untuk sirkulasi pembuangan uap jenuh atau perpindahan massa di dalam oven akibat proses pengeringan

kerupuk, kerugian panas (Q_{loss}), dan perpindahan panas yang terjadi pada oven digunakan sebagai referensi proses pengujian oven pengering kerupuk.

c. Perencanaan Desain Alat Pengering Kerupuk

Perencanaan oven pengering kerupuk mengacu pada hasil observasi dan studi literatur yang telah dilakukan. Dalam perencanaan oven pengering kerupuk muncul beberapa permasalahan antara lain:

1. Membuat desain oven pengering kerupuk yang dapat menyerap seluruh panas dari penggorengan kerupuk.
2. Mengatur aliran udara panas pada oven pengering kerupuk sehingga dapat mengalir ke seluruh rak kerupuk dan mengeringkan kerupuk secara merata.
3. Pemilihan material yang digunakan untuk membuat oven pengering kerupuk sehingga dapat dijangkau oleh usaha mikro, kecil dan menengah (UMKM) pembuat jajanan kerupuk.

d. Pembuatan

Setelah rancangan selesai, tahap selanjutnya adalah pembuatan alat. Dimulai dengan pembuatan rangka rancang bangun pengering kerupuk kemudian selimut yang terbuat dari plat galvalum pasang menggunakan paku keling. Untuk pembuatan pintu sama dengan pembuatan badan. Kemudian pintu disatukan pada badan rancang bangun pengering kerupuk menggunakan engsel. Tahap terakhir adalah pemasangan *exhaust fan* pada cerobong dan pembuatan rak sebagai tempat kerupuk.

e. Pengujian Alat

Untuk pengujian alat, ada beberapa parameter yang akan diuji sesuai dengan latar belakang dan tujuan pembuatan alat pengering kerupuk antara lain:

1. Kapasitas panas yang diserap dan dikeluarkan melalui cerobong.
2. Kadar air yang berkurang setelah dilakukan proses pengeringan menggunakan oven pengering kerupuk.

3. Penyebaran udara panas pada tiap rak dalam oven pengering kerupuk.

- f. Analisa Hasil Pengujian

Pada tahap ini dilakukan analisis aliran udara panas yang mengalir pada rancang bangun pengering kerupuk.

- g. Kesimpulan

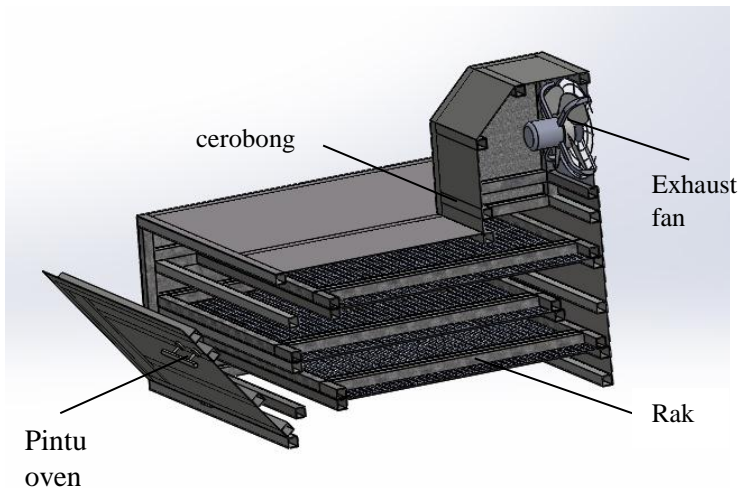
Kesimpulan berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan sehingga mendapat laporan hasil nyata dan dapat dipertanggungjawabkan.

- h. Pembuatan Laporan/Buku

Pembuatan laporan/ buku dilakukan setelah dilakukan pengujian dan didapatkan hasil serta kesimpulan.

3.3 Komponen Oven Pengering

Berikut ini adalah bagian-bagian dari oven pengering.



Gambar 3. 5 Rancangan oven pengering dan bagian-bagiannya

3.4 Pengujian Alat

Berikut adalah prosedur pelaksanaan pengujian yang digambarkan dalam diagram alir sebagai berikut:



Gambar 3. 6 Diagram alir proses pengujian

Adapun penjelasan diagram alir pada gambar 3.8 adalah sebagai berikut:

1) Persiapan bahan dan alat

Bahan yang dipersiapkan adalah:

- a. Kerupuk tengiri
- b. Minyak goreng
- c. Gas (LPG)

Alat yang digunakan untuk melakukan pengukuran dalam pengujian adalah:

- a. *Higrometer*
- b. *Thermometer*
- c. *Anemometer*
- d. Timbangan

2) Pengujian

Pengujian dilakukan dalam beberapa tahapan berdasarkan tata cara pengujian yang telah dibuat untuk mendapatkan hasil sesuai dengan tujuan pembuatan alat.

3) Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan selama tahapan pengujian dilakukan. Data yang didapat dengan melakukan pengaturan pada kecepatan *exhaust fan*.

3.4.1 Persiapan Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam pengujian adalah kerupuk tengiri yang mentah yang belum digoreng yang mempunyai kadar air tinggi sehingga perlu dikeringkan, minyak goreng yang digunakan untuk menggoreng kerupuk.. Kerupuk ini akan dikeringkan dengan cara diletakkan di atas rak-rak dengan ukuran (800 x 750 x 25)mm dalam oven kemudian akan dikeringkan dengan panas dari penggorengan yang mengalir melalui celah aliran di dalam oven. Kemudian menyiapkan alat untuk pengujian yaitu wajan penggorengan yang digunakan untuk menggoreng kerupuk sehingga dapat menghasilkan panas yang digunakan untuk mengeringkan kerupuk dan Gas (LPG) yang digunakan sebagai bahan bakar untuk memanaskan minyak goreng yang berada di atas wajan. Pada pengujian ini, menggunakan 2 tabung LPG karena terdapat 2 wajan yang digunakan untuk menggoreng yaitu satu wajan kecil digunakan untuk memanaskan kerupuk dan wajan besar digunakan untuk menggoreng kerupuk agar bisa mengembang.

3.4.2 Peralatan untuk Pengujian

Peralatan ukur yang digunakan dalam pengujian sehingga diperoleh data-data yang kemudian digunakan dalam proses perhitungan terdiri atas :

- a. *Higrometer*, digunakan untuk mengukur tingkat kelembaban pada suatu tempat.



Gambar 3. 7 Hygrometer

- b. *Thermometer*, berfungsi untuk mengukur temperatur



Gambar 3. 8 *Thermometer thermocouple*

- c. *Anemometer*, untuk mengukur kecepatan aliran uap jenuh dari dalam pengering ke udara bebas dapat diketahui pula. Anemometer diletakkan pada cerobong, pada saat melakukan pengukuran



Gambar 3. 9 Anemometer

- d. Timbangan, untuk mengukur berat minyak goreng sebelum dan sesudah digunakan

3.4.3 Tata Cara Pengujian

Untuk melakukan pengujian, dilakukan beberapa tahap pengujian di antaranya :

A. Tahap Persiapan

1. Mempersiapkan bahan yang akan dikeringkan, yaitu kerupuk tengiri yang belum kering dan minyak goreng.
2. Mempersiapkan kerupuk tengiri kering yang akan digoreng.
3. Mempersiapkan peralatan yang digunakan untuk proses pengujian seperti wajan penggorengan untuk menggoreng kerupuk dan tabung gas LPG
4. Menimbang berat awal kerupuk tengiri yang belum dikeringkan. Untuk kerupuk tengiri berat awal yang dihitung adalah berdasarkan berat kerupuk dalam satu rak dengan jumlah rak sebanyak enam buah.

5. Menimbang berat awal minyak goreng sebelum digunakan untuk menggoreng.
6. Menimbang berat awal tabung gas LPG, pada pengujian ini menggunakan 2 LPG.
7. Menuangkan minyak goreng pada wajan penggorengan dan memasang regulator pada tabung gas LPG.
8. Memanaskan minyak di wajan penggorengan yang digunakan untuk menggoreng kerupuk dengan menyalakan LPG yang terletak dibawah wajan penggorengan, kemudian melakukan proses penggorengan kerupuk, sehingga menghasilkan uap panas dari proses penggorengan tersebut.
9. Menyalakan *exhaust fan* dan mengatur kecepatan *exhaust fan*
10. Setelah temperatur dianggap *steady*, selanjutnya memasukkan kerupuk yang telah ditata pada rak ke dalam oven pengering.
11. Pengukuran dan pengambilan data pada proses pengeringan kerupuk.
12. Setelah kerupuk dianggap kering kemudian keluarkan dari oven.
13. Mengukur berat kerupuk tengiri setelah dikeringkan dan mengukur berat tabung gas setelah digunakan.

B. Tahap Pengambilan Data

Pada tahap ini, data-data diambil dengan melakukan pengaturan kecepatan *exhaust fan*. Kemudian untuk setiap kecepatan *exhaust fan* perlu dicatat antara lain :

1. Massa bahan sebelum dikeringkan dan bahan sesudah dikeringkan
2. Massa LPG sebelum digunakan dan setelah digunakan
3. Massa minyak goreng awal dan akhir
4. Kecepatan aliran fluida pada *anemometer*

5. Kelembaban udara ruangan (%Rh)
6. Temperatur di tiap rak, untuk mengetahui temperatur dalam
7. Temperatur permukaan bahan yang telah kering
8. Waktu yang diperlukan sampai kerupuk tengiri menjadi kering

Setelah dilakukan pengujian dan diperoleh data-data hasil pengujian seperti yang ditunjukkan, kemudian dilakukan beberapa perhitungan diantaranya :

1. Menghitung presentase bobot basah diawal sebelum dikeringkan, menjadi bobot kering sesudah dikeringkan.
2. Menghitung kerugian panas (Q_{loss}) yang keluar menembus dinding pengering selama proses pengeringan bahan untuk setiap pengaturan kecepatan exhaust fan
3. Menghitung laju perpindahan massa uap air (Q_{evap}) ke udara selama proses pengeringan untuk setiap pengaturan bukaan cerobong
4. Menganalisa kesetimbangan energi untuk setiap pengaturan kecepatan *exhaust fan* pada kondisi *steady state*.
5. Menghitung pada kondisi dengan kecepatan exhaust berapa mampu menghasilkan kerupuk kering yang paling banyak.
6. Menghitung kapasitas oven pengering kerupuk sehingga diketahui perbandingan peningkatan produksi apabila mengeringkan kerupuk menggunakan oven pengering dengan mengeringkan secara alami menggunakan sinar matahari.

BAB 4

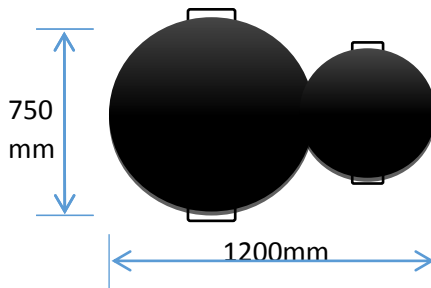
HASIL DAN ANALISA PERHITUNGAN

4.1 Rancangan Pengering (Oven)

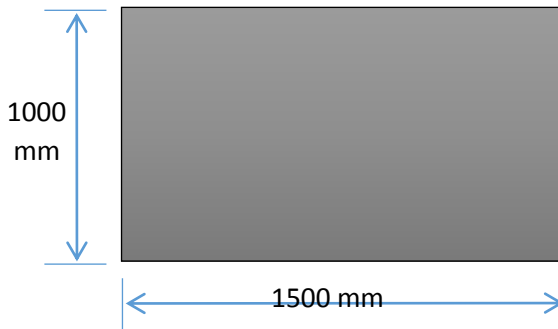
Dalam merancangan oven pengering kerupuk ada 3 hal utama yang perlu diperhatikan yaitu:

a. Dimensi oven pengering kerupuk

Penentuan luasan oven berdasarkan luasan wajan penggorengan seperti pada gambar 4.1, dengan membuat luasan oven lebih besar, seperti pada gambar 4.2, maka udara panas yang dikeluarkan dari minyak goreng pada proses penggorengan dapat terperangkap ke dalam oven.



Gambar 4. 1 Susunan wajan penggorengan

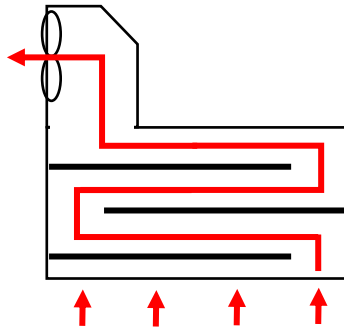


Gambar 4. 2 Penampang luasan oven pengering kerupuk

Kemudian untuk tinggi oven disesuaikan dengan jarak yang tersisa antara batas penglihatan wajan penggorengan (hasil observasi, didapatkan jarak 1100 mm dari lantai) dan ventilasi udara yaitu tinggi oven 500 mm dan tinggi cerobong 400 mm)

b. Aliran udara

Untuk mengatur aliran udara maka susunan rak pada oven pengering kerupuk dibuat zig-zag sehingga menyisakan sisi yang tidak tertutup rak sebagai tempat mengalirnya udara panas. Selain itu, panas tidak langsung keluar dan dapat menyebar ke seluruh tingkatan rak. Kemudian untuk menghindari penumpukan udara panas pada oven pengering kerupuk maka cerobong tempat pembuangan uap jenuh dipasang exhaust fan. Kemudian kecepatan exhaust fan diatur menggunakan dimer sehingga dapat dipilih kecepatan yang optimal untuk mengeringkan kerupuk.



Gambar 4. 3 Penampang samping susunan rak aliran udara panas

c. Pemilihan material

Untuk pemilihan bahan, karakteristik maka dipilih bahan yang tahan panas, tidak mudah berkarat karena digunakan untuk proses pengolahan kerupuk, selain itu juga mempunyai kekuatan yang cukup baik agar dapat menampung dan menahan beban kerupuk yang akan dikeringkan dan meminimalisir kecelakaan kerja. Dari

karakteristik-karakteristik diatas maka bahan yang memungkinkan digunakan adalah *stainless steel* dan galvalum. Galvalum dilakukan dengan continous hot dipped. Komposisi cairan pelapis untuk galvalum terdiri dari aluminium 55% dan zinc/seng 45%, sisanya bahan lain hingga 100%. Karena kandungan aluminium yang tinggi pada galvalum membuat galvalum mempunyai daya tahan terhadap karat yang bagus. Kalau stainless steel adalah logam paduan dari beberapa unsur logam dengan komposisi tertentu. Antara lain jumlah minimum digunakan untuk membuat stainless adalah 10,5%, itu adalah krom yang membuat baja stainless. Kromium juga meningkatkan ketahanan korosi dengan membentuk film oksida kromium pada baja. Elemen lainnya yang digunakan untuk membuat stainless termasuk nikel, nitrogen, dan molibdenum. Dari beberapa elemen tersebut didapatkan sifat baru dari logam tersebut yang lebih kuat lebih tahan lama terhadap korosi, dan sifat unggul lainnya. Stainless steel terbagi menjadi beberapa grade berdasarkan struktur metalurginya. Khusus untuk aplikasi dalam pembuatan mesin pengolahan makanan, biasanya digunakan jenis stainless food grade (SS304, SS316). Namun, jika dilihat dari segi harga galvalum mempunyai harga yang lebih murah daripada stainless steel sehingga dapat dijangkau oleh UMKM jajanan kerupuk milik bapak Mundzir. Maka dari itu, bahan untuk rangka, rangka rak dan selimut oven pengering kerupuk dibuat dari bahan galvalum. Sedangkan jaring rak menggunakan bahan aluminium.



Gambar 4. 4 Hasil realisasi dari rancangan

4.2 Data Spesifikasi Alat

Beberapa data yang diperlukann untuk melakukann analisis adalah sebagai berikut:

1. Dimensi Model Oven

Panjang	= 1500 mm	= 1,5 m
Lebar	= 1000 mm	= 1 m
Tinggi	= 500 mm	= 0,5 m

2. Ukuran cerobong

Panjang	= 300 mm	= 0,3 m
Lebar	= 300 mm	= 0,3 m
Tinggi	= 100 mm	= 0,1 m

$$\begin{aligned}
 A_c &= p \times l \\
 &= (0,3 \times 0,3) \text{ m}^2 \\
 &= 0,009 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

3. Luas Permukaan Dinding Bagian dinding atas (Atop)

$$\begin{aligned}
 A_{\text{top}} &= \text{luas dinding bagian atas- luas alas cerobong} \\
 &= (1,5 \times 1) \text{ m}^2 - (0,3 \times 0,3) \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$= 1,5 \text{ m}^2 - 0,09 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{top}} = 1,491 \text{ m}^2$$

Bagian Kanan/Right dan Kiri/Left ($A_{\text{Right,Left}} / A_{\text{R,L}}$)

$$A_{\text{RL}} = p \times l$$

$$= 1 \text{ m} \times 0,5 \text{ m}$$

$$= 0,5 \text{ m}^2$$

Bagian Depan/Front dan Belakang/Behind ($A_{\text{Front,Behind}} / A_{\text{FB}}$)

$$A_{\text{FB}} = p \times l$$

$$= 1,5 \text{ m} \times 0,5 \text{ m}$$

$$A_{\text{FB}} = 0,75 \text{ m}^2$$

4. Data rak penampung

$$\text{Panjang} = 840 \text{ mm} = 0,84 \text{ m}$$

$$\text{Lebar} = 720 \text{ mm} = 0,72 \text{ m}$$

4.3 Data Hasil Pengujian

Dari pengujian yang dilakukan, didapatkan data sebagai berikut :

Tabel 4. 1 Temperatur udara yang masuk dan temperatur ruangan

Percobaan	$T_{\text{in}} (^{\circ}\text{K})$	$T_{\text{ruang}} (^{\circ}\text{K})$	$\Delta T (^{\circ}\text{K})$
Kecepatan 0 rpm	325	317	8
Kecepatan 205 rpm	331,5	307	24,5
Kecepatan 273 rpm	332,5	306	26,5
Kecepatan 241 rpm	325	305	20

Tabel 4. 2 Temperatur dalam oven

Percobaan	T_{∞} (K)	T_s (K)
Kecepatan 0 rpm	310,22	309
Kecepatan 205 rpm	325,78	311
Kecepatan 273 rpm	317,22	310,17
Kecepatan 341 rpm	308,67	307,83

Tabel 4. 3 Temperatur luar oven

Percobaan	T_{∞} (K)	T_s (K)
Kecepatan 0 rpm	317	309
Kecepatan 205 rpm	307	311
Kecepatan 273 rpm	306	310,17
Kecepatan 341 rpm	305	307,83

Tabel 4. 4 Data Berat LPG

Data	Perc 1 (kg)		Perc 2 (kg)		Perc 3 (kg)		Perc 4 (kg)	
	sbm	Ssd	sbm	ssd	sbm	ssd	sbm	Ssd
LPG 1	6,400	5,495	7,685	6,36	7,620	5,10	6,610	5,035
LPG 2	5,245	5,05	5,45	5,080	6,010	5,65	5,860	5,480

Tabel 4. 5 Data Berat kerupuk

	Kecepatan 0 rpm	Kecepatan 205 rpm	Kecepatan 273 rpm	Kecepatan 341 rpm
Sebelum pengeringan	6 kg	6 kg	6 kg	6 kg
Sesudah pengeringan	5,895 kg	5,75 kg	5,89 kg	5,875 kg
selisih	0,105 kg	0,25 kg	0,11 kg	0,125 kg

Tabel 4. 6 Data Berat minyak goreng

	Kecepatan 0 rpm	Kecepatan 205 rpm	Kecepatan 273 rpm	Kecepatan 341 rpm
Sebelum pengeringan	13,13 kg	15,715 kg	13,66 kg	15,335 kg
Sesudah pengeringan	8,56 kg	9,485 kg	8,145 kg	8,925 kg
selisih	4,57 kg	6.23 kg	5.515 kg	6,41 kg

Tabel 4. 7 Data Kelembaban udara

	Kecepatan 0 rpm	Kecepatan 205 rpm	Kecepatan 273 rpm	Kecepatan 341 rpm
Selama penggorengan	59 %	56 %	52 %	55 %
Sebelum penggorengan	60 %	59 %	59 %	69 %

Tabel 4. 8 Data kecepatan aliran masuk yang diukur dengan anemometer

Percobaan	Kecepatan V (m/s)
Kecepatan 0 rpm	0,2
Kecepatan 205 rpm	0,3
Kecepatan 273 rpm	0,3
Kecepatan 341 rpm	0,4

Tabel 4. 9 Data kecepatan pada cerobong yang diukur dengan anemometer

Percobaan	Kecepatan V (m/s)
Kecepatan 0 rpm	0,3
Kecepatan 205 rpm	1,1
Kecepatan 273 rpm	1,4
Kecepatan 341 rpm	1,5

4.4 Perhitungan Q_{in} (W) yang Digunakan dalam Proses Pengeringan

Perhitungan panas yang masuk (Q_{in}) dalam pengering, contoh perhitungan pada percobaan 2 adalah sebagai berikut:

Diketahui : $T_{in} = 331,5$ °K, berdasarkan tabel A4 didapatkan

$$\rho = 1,0566 \text{ kg/m}^3$$

$$A = 1,5 \text{ m}^2$$

$$V = 0,3 \text{ m/s}$$

$$\begin{aligned}\dot{m} &= 0,4754 \text{ kg/s} \\ C_p &= 1,0082 \text{ kJ/kg.K}\end{aligned}$$

Menentukan laju aliran massa (\dot{m})

$$\dot{m} = \rho \cdot A \cdot V$$

$$\dot{m} = 1,0566 \text{ kg} / \text{m}^3 \cdot 1,5 \text{ m}^2 \cdot 0,3 \text{ m} / \text{s}$$

$$\dot{m} = 0,4754 \text{ kg} / \text{s}$$

Sehingga diketahui Q_{in} sebagai berikut :

$$Q_{in} = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T$$

$$Q_{in} = \dot{m} \cdot c_p \cdot (T_{in} - T_{ruang})$$

$$Q_{in} = 0,4754 \text{ kg} / \text{s} \cdot 1,0082 \text{ kJ} / \text{kg} \cdot \text{K} \cdot (331,5 - 307) \text{ K}$$

$$Q_{in} = 11,7428 \text{ kW}$$

$$Q_{in} = 11.742,8 \text{ W}$$

Data Q_{in} setiap percobaan

Tabel 4. 10 Data Q_{in}

Percobaan	Q_{in} (W)
Kecepatan 1	2.760
Kecepatan 2	11.742,8
Kecepatan 3	12.662,5
Kecepatan 4	16.301,8

4.5 Perhitungan Kerugian Panas (Q_{loss})

Sebelum menghitung Q_{Loss} untuk setiap pengaturan kecepatan *exhaust fan*, koefisien konveksi untuk bagian dalam

(h_1) dan bagian luar (h_2) serta koefisien konveksi yang bergerak ke atas (h_{top}) harus diketahui terlebih dahulu. Contoh perhitungan pada percobaan 2 adalah sebagai berikut:

1. Mencari h_1 pada $A_{R,L}$ dan $A_{F,B}$

Diketahui: $T_\infty = 52,78^\circ\text{C} = 325,78^\circ\text{K}$, dari tabel A4 didapatkan:

$$\nu = 18,4835 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$K = 28,2077 \times 10^{-3} \text{ W/mK}$$

$$\alpha = 26,3154 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$Pr = 0,7034$$

$$\rho = 1,0756 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu = 196,782 \times 10^{-7} \text{ Ns/m}^2$$

$$\beta = 0,0031 \text{ K}^{-1}$$

Panjang karakteristik (L) :

$$L = \frac{4A}{P}$$

$$L = \frac{4(p.l)}{2(p+l)}$$

$$L = \frac{2(p.l)}{(p+l)}$$

Sehingga didapatkan :

$$L_{AR,L} = 0,75 \text{ m}$$

$$L_{AF,B} = 0,67 \text{ m}$$

- Untuk $A_{R,L}$:

$$Ra_L = \frac{g \cdot \beta \cdot (T_s - T_\infty) \cdot L^3}{\nu \alpha}$$

$$Ra_L = \frac{9,81 \frac{m}{s^2} \cdot 0,0031 K^{-1} \cdot (311 - 325,78)^\circ K \cdot (0,75m)^3}{18,4835 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s} \cdot 26,3154 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}}$$

$$Ra_L = -3,8985 \times 10^{-4} \cdot 10^{12}$$

$$Ra_L = -3,8985 \cdot 10^8$$

Karena $10^{-1} \leq Ra_L \leq 10^{12}$ (aliran turbulen) maka:

$$\overline{Nu}_L = \left\{ 0,825 + \frac{0,387 Ra_L^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + (0,492 / Pr)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right\}^2$$

$$\overline{Nu}_L = \left\{ 0,825 + \frac{0,387 x (-3,8985 \cdot 10^8)^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + (0,492 / 0,7034)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right\}^2$$

$$\overline{Nu}_L = (0,825 + (-8,7626))^2$$

$$\overline{Nu}_L = 63,0055$$

Maka koefisien konveksi dalam (h_1) pada $A_{R,L}$ adalah

$$h_{1AR,L} = \frac{\overline{Nu_L} k}{L}$$

$$h_{1AR,L} = \frac{63,0055 \cdot 28,2077 \cdot 10^{-3} \text{ W/mK}}{0,75m}$$

$$h_{1AR,L} = 2,3697 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

- Untuk A_{F,B}:

$$Ra_L = \frac{g \cdot \beta \cdot (T_s - T_\infty)}{\nu \alpha}$$

$$Ra_L = \frac{9,81 \frac{m}{s^2} \cdot 0,0031 \text{ K}^{-1} \cdot (311 - 325,78)^\circ \text{ K} \cdot (0,67m)^3}{18,4835 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s} \cdot 26,3154 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}}$$

$$Ra_L = -2,7793 \cdot 10^{-4} \cdot 10^{12}$$

$$Ra_L = -2,7793 \cdot 10^8$$

Karena $10^{-1} \leq Ra_L \leq 10^{12}$ (aliran turbulen) maka:

$$\overline{Nu}_L = \left\{ 0,825 + \frac{0,387 Ra_L^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + (0,492 / Pr)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right\}^2$$

$$\overline{Nu}_L = \left\{ 0,825 + \frac{0,387 \cdot (-2,7793 \cdot 10^8)^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + (0,492 / 0,7034)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right\}^2$$

$$\overline{Nu}_L = (0,825 + (-8,282))^2$$

$$\overline{Nu}_L = 55,6068$$

Maka koefisien konveksi dalam (h_1) pada $A_{F,B}$ adalah

$$h_{1AF,B} = \frac{\overline{Nu}_L k}{L}$$

$$h_{1AF,B} = \frac{55,6068 \cdot 28,2077 \cdot 10^{-3} \text{ W/mK}}{0,75m}$$

$$h_{1AF,B} = 2,3411 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

2. Mencari h_2 pada $A_{R,L}$ dan $A_{F,B}$

Diketahui: $T_\infty = 34^\circ\text{C} = 307^\circ\text{K}$, dari tabel A4 didapatkan:

$$v = 16,5942 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$K = 26,818 \times 10^{-3} \text{ W/mK}$$

$$\alpha = 23,536 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$Pr = 0,706$$

$$\rho = 1,1381 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu = 187,96 \times 10^{-7} \text{ Ns/m}^3$$

$$\beta = 0,0033 \text{ K}^{-1}$$

$$L_{AR,L} = 0,75 \text{ m}$$

$$L_{AF,B} = 0,67 \text{ m}$$

- Untuk $A_{R,L}$:

$$Ra_L = \frac{g \cdot \beta \cdot (T_s - T_\infty) \cdot L^3}{\nu \alpha}$$

$$Ra_L = \frac{9,81 \frac{m}{s^2} \cdot 0,0031 \text{ K}^{-1} \cdot (311 - 325,78)^\circ \text{ K} \cdot (0,75 \text{ m})^3}{16,5942 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s} \cdot 23,536 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}}$$

$$Ra_L = 2,4867 \cdot 10^{-4} \cdot 10^{12}$$

$$Ra_L = 2,487 \cdot 10^8$$

Karena $10^{-1} \leq Ra_L \leq 10^{12}$ (aliran turbulen) maka:

$$\overline{Nu_L} = \left\{ 0,825 + \frac{0,387 Ra_L^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + (0,492 / Pr)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right\}^2$$

$$\overline{Nu_L} = \left\{ 0,825 + \frac{0,387 \cdot (2,4867 \cdot 10^8)^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + (0,492 / 0,7034)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right\}^2$$

$$\overline{Nu_L} = (0,825 + 8,132)^2$$

$$\overline{Nu_L} = 80,2278$$

Maka koefisien konveksi dalam (h_2) pada $A_{R,L}$ adalah

$$h_{2AR,L} = \frac{\overline{Nu_L} k}{L}$$

$$h_{2AR,L} = \frac{80,2278 \cdot 26,818 \cdot 10^{-3} \text{ W/mK}}{0,75m}$$

$$h_{2AR,L} = 2,8687 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

- Untuk $A_{F,B}$:

$$Ra_L = \frac{g \cdot \beta \cdot (T_s - T_\infty) \cdot L^3}{\nu \alpha}$$

$$Ra_L = \frac{9,81 \frac{m}{s^2} \cdot 0,0031 \text{ K}^{-1} \cdot (311 - 325,78)^\circ \text{ K} \cdot (0,67m)^3}{16,5942 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s} \cdot 23,536 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}}$$

$$Ra_L = 9,9719 \cdot 10^{-5} \cdot 10^{12}$$

$$Ra_L = 9,9719 \cdot 10^7$$

Karena $10^{-1} \leq Ra_L \leq 10^{12}$ (aliran turbulen) maka:

$$\overline{Nu}_L = \left\{ 0,825 + \frac{0,387 Ra_L^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + (0,492 / Pr)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right\}^2$$

$$\overline{Nu}_L = \left\{ 0,825 + \frac{0,387 x (9,9719 x 10^7)^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + (0,492 / 0,706)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right\}^2$$

$$\overline{Nu}_L = (0,825 + 6,9832)^2$$

$$\overline{Nu}_L = 60,968$$

Maka koefisien konveksi dalam (h_2) pada $A_{F,B}$ adalah

$$h_{2\text{Atop}} = \frac{\overline{Nu}_L k}{L}$$

$$h_{2\text{Atop}} = \frac{60,968 x 26,818 x 10^{-3} \text{ W/mK}}{0,67 \text{ m}}$$

$$h_{2\text{Atop}} = 2,4404 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

3. Mencari h_1 dan h_2 pada A_{top}

Diketahui: $T_{\infty} = 52,78^{\circ}\text{C} = 352,78^{\circ}\text{K}$, dari tabel A4 didapatkan:

$$\begin{aligned} v &= 18,4835 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} \\ K &= 28,2077 \times 10^{-3} \text{ W/mK} \\ \alpha &= 26,3154 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} \\ Pr &= 0,7034 \\ \rho &= 1,0756 \text{ kg/m}^3 \\ \mu &= 196,7682 \times 10^{-7} \text{ Ns/m}^2 \end{aligned}$$

$$\beta = 0,0031 \text{ K}^{-1}$$

$$L = 1,0071 \text{ m}$$

- Untuk h_1 pada A_{top} :

$$Ra_L = \frac{g \cdot \beta \cdot (T_s - T_\infty) \cdot L^3}{\nu \alpha}$$

$$Ra_L = \frac{9,81 \frac{m}{s^2} \cdot 0,0031 \text{K}^{-1} \cdot (334 - 325,78)^\circ \text{K} \cdot (1,0071 \text{m})^3}{18,4835 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s} \cdot 26,3154 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}}$$

$$Ra_L = 5,2496 \cdot 10^{-4} \cdot 10^{12}$$

$$Ra_L = 5,2496 \cdot 10^8$$

Karena $10^5 \leq Ra_L \leq 10^{12}$ (*hot surface facing down*) maka:

$$\overline{Nu_L} = 0,27 Ra_L^{\frac{1}{4}}$$

$$\overline{Nu_L} = 0,27 \cdot (5,2496 \cdot 10^8)^{\frac{1}{4}}$$

$$\overline{Nu_L} = 40,8691$$

Maka koefisien konveksi dalam h_1 pada A_{top} adalah

$$h_1 = \frac{\overline{Nu_L} k}{L}$$

$$h_1 = \frac{40,891 \cdot 28,2077 \cdot 10^{-3} \text{ W/mK}}{1,0071 \text{ m}}$$

$$h_1 = 1,1447 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

- Untuk h_2 pada A_{top} :

Diketahui: $T_\infty = 34^\circ \text{C} = 307^\circ \text{K}$, dari tabel A4 didapatkan:

$$\nu = 16,5942 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$K = 26,818 \times 10^{-3} \text{ W/mK}$$

$$\alpha = 23,536 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$Pr = 0,706$$

$$\rho = 1,1381 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu = 187,96 \times 10^{-7} \text{ Ns/m}^2$$

$$\beta = 0,0033 \text{ K}^{-1}$$

$$L = 1,0071 \text{ m}$$

Untuk h_2 pada A_{top} :

$$Ra_L = \frac{g \cdot \beta \cdot (T_s - T_\infty) \cdot L^3}{\nu \alpha}$$

$$Ra_L = \frac{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0,0031 \text{K}^{-1} \cdot (334 - 307)^\circ \text{K} \cdot (1,0071 \text{m})^3}{16,5942 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \cdot 23,536 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}}$$

$$Ra_L = 2,286 \cdot 10^{-4} \cdot 10^{12}$$

$$Ra_L = 2,286 \cdot 10^8$$

Karena $10^7 \leq Ra_L \leq 10^{11}$ (*hot surface facing up*) maka:

$$\overline{Nu_L} = 0,15 Ra_L^{\frac{1}{3}}$$

$$\overline{Nu_L} = 0,15 \cdot (2,286 \cdot 10^9)^{\frac{1}{3}}$$

$$\overline{Nu_L} = 197,4984$$

Maka koefisien konveksi dalam h_2 pada A_{top} adalah

$$h_2 = \frac{\overline{Nu_L} k}{L}$$

$$h_2 = \frac{197,4984 \cdot 26,818 \cdot 10^{-3} \text{ W/mK}}{1,0071 \text{ m}}$$

$$h_2 = 5,2618 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

Tabel 4. 11 Koefisien Konveksi Bagian Dalam (h_1)

Percobaan	A_{top} (W/m ² K)	$A_{R,L}$ (W/m ² K)	$A_{F,B}$ (W/m ² K)
Kecepatan 0rpm	1,5993	0,9449	0,9449
Kecepatan 205rpm	1,1447	2,3697	2,3411
Kecepatan 273rpm	0,5632	1,8478	1,8199
Kecepatan 341 rpm	1,1955	0,8355	0,8193

Tabel 4. 12 Koefisien Konveksi Bagian Dalam (h_2)

Percobaan	A_{top} (W/m ² K)	$A_{R,L}$ (W/m ² K)	$A_{F,B}$ (W/m ² K)
Kecepatan 0rpm	4,9236	2,0313	2,0052
Kecepatan 205rpm	5,2618	2,8687	2,4404
Kecepatan 273rpm	4,233	2,4448	2,4731
Kecepatan 341 rpm	4,1355	2,1593	2,1859

4. Menghitung Q_{loss}

Contoh perhitungan pada percobaan 2. Mencari hambatan thermal (R_{tot}).

- Untuk A_{top}

$$R_{tot} = \left[\frac{1}{h_{top2} A_1} + \frac{L_1}{K A_1} + \frac{1}{h_{top1} A_1} \right]$$

$$R_{tot} = \left[\frac{1}{5,2618 W/m^2 K \cdot 141 m^2} + \frac{L_1}{166 W/m K \cdot 1,41 m^2} + \frac{1}{1,1447 W/m^2 K \cdot 1,41 m^2} \right]$$

$$R_{tot} = 0,5875 m^2 K/W$$

Sehingga Q_{loss} untuk A_{top} :

$$Q_{Loss} = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_{tot}}$$

$$Q_{Loss} = \frac{325,78 - 307}{0,7544}$$

$$Q_{Loss} = 24,894 W$$

• Untuk $A_{R,L}$

$$R_{tot}'' = \left[\frac{1}{h_2} + \frac{L_1}{K} + \frac{1}{h_1} \right]$$

$$R_{tot}'' = \left[\frac{1}{2,8687 W/m^2 K} + \frac{L_1}{166 W/m K} + \frac{1}{2,3697 W/m^2 K} \right]$$

$$R_{tot}'' = 0,7706 m^2 K/W$$

Sehingga Q''_{loss} untuk $A_{R,L}$:

$$Q''_{Loss} = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_{tot}''}$$

$$Q''_{Loss} = \frac{(325,78 - 307) K}{0,7706 m^2 K/W}$$

$$Q''_{Loss} = 24,3706 W/m^2$$

Karena $Q''_{Loss} = \frac{Q_{Loss}}{A}$, maka Q_{loss} untuk dinding $A_{R,L}$

didapatkan:

$$Q_{Loss} = Q''_{Loss} \cdot A$$

$$Q_{Loss} = 24,3706 \frac{W}{m^2} \cdot 0,75 m^2$$

$$Q_{Loss} = 18,278 W$$

• Untuk $A_{F,B}$

$$R_{tot}'' = \left[\frac{1}{h_2} + \frac{L_1}{K} + \frac{1}{h_1} \right]$$

$$R_{tot}'' = \left[\frac{1}{2,4404 \frac{W}{m^2 K}} + \frac{L_1}{166 \frac{W}{m K}} + \frac{1}{2,3411 \frac{W}{m^2 K}} \right]$$

$$R_{tot}'' = 0,8369 m^2 K/W$$

Sehingga Q''_{loss} untuk $A_{F,B}$:

$$Q''_{Loss} = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_{tot}}$$

$$Q''_{Loss} = \frac{(325,78 - 307) K}{0,8369 m^2 K/W}$$

$$Q''_{Loss} = 22,44 \frac{W}{m^2}$$

Karena $Q''_{Loss} = \frac{Q_{Loss}}{A}$, maka Q_{loss} untuk dinding $A_{F,B}$

didapatkan:

$$Q_{Loss} = Q''_{Loss} \times A$$
$$Q_{Loss} = 22,44 \frac{W}{m^2} \times 0,5 m^2$$
$$Q_{Loss} = 11,22 W$$

Tabel 4. 13 Data hasil Q_{loss} untuk A_1, A_2, A_3

Percobaan	$Q_{loss}(W)$
Kecepatan 0 rpm	-51,1387
Kecepatan 205 rpm	1693,392
Kecepatan 273 rpm	1306,9378
Kecepatan 341 rpm	470,5509



Gambar 4. 5 Grafik fungsi kecepatan putaran exhaust fan terhadap Q_{loss}

Pada grafik di atas menunjukkan bahwa setiap pengaturan kecepatan *exhaust fan* mengalami fluktuasi. Kerugian panas

paling besar adalah pada percobaan kedua yaitu kecepatan 205 rpm yaitu 1693,392 W, sedangkan kerugian panas terkecil pada percobaan pertama dengan kecepatan 0 rpm yaitu -51,1387 W.

Tabel 4. 14 Data kecepatan (V) hasil pengukuran menggunakan anemometer

Percobaan	Kecepatan V (m/s)
Kecepatan 0 rpm	0,3
Kecepatan 205 rpm	1,1
Kecepatan 273 rpm	1,4
Kecepatan 341 rpm	1,5

Jadi kecepatan rata-rata (\bar{V}) udara dapat dicari menggunakan rumus:

$$\frac{\bar{V}}{U} = \frac{2n^2}{(n+1)(2n+1)} \text{ dimana } n = -1,7 + 1,8 \log \text{Re}_u$$

Contoh perhitungan pada percobaan 2.

Diketahui $T_{\infty 2} = 325,78^\circ\text{K}$, dari tabel A4 didapatkan data:

$$\nu = 18,4835 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

Panjang Lintasan (L) = 0,9 m

$$U = V = 1,1 \text{ m/s}$$

Maka :

$$Re_u = \frac{VL}{\nu}$$

$$Re_u = \frac{1,1 \frac{m}{s} \times 0,9m}{18,4835 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}}$$

$$Re_u = 53.561,2844$$

n didapatkann dari :

$$n = -1,7 + 1,8 \log 53.561,2844$$

$$n = 6,8119$$

Sehingga kecepatan rata-rata (\bar{V}) pada percobaan 2 adalah:

$$\frac{\bar{V}}{U} = \frac{2n^2}{(n+1)(2n+1)}$$

$$\frac{\bar{V}}{1,1} = \frac{2(6,8119)^2}{(6,8119+1)((2 \cdot 6,8119)+1)}$$

$$\bar{V} = 0,8936 \frac{m}{s}$$

5. Menghitung Q_{loss} infiltrasi

Q_{loss} infiltrasi adalah udara yang masuk ke dalam penngering, setelah diketahui kecepatan rata-rata maka dapat digunakann untuk menentukan Q_{loss} infiltrasi. Contoh perhitungan pada percobaan 2.

Diketahui

$$A_{cerobong} = 0,009 \text{ m}^2$$

$T_{\infty} = 325,78^{\circ}\text{K}$, berdasarkan tabel A4 didapatkan :

$$\rho = 1,0756 \text{ kg/m}^3$$

$$Cp = 1,009 \text{ kJ/kg.K}$$

$$\dot{m} = \rho_{udara} \cdot V \cdot A$$

$$\dot{m} = 1,0756 \frac{kg}{m^3} \cdot 0,8936 \frac{m}{s} \cdot 0,09 m^2$$

$$\dot{m} = 0,0865 \frac{kg}{s}$$

$$Q_{loss_{inf}} = \dot{m} \cdot Cp \cdot (T_{\infty 1} - T_{\infty 2})$$

$$Q_{loss_{inf}} = 0,0865 \frac{kg}{s} \cdot 1,009 \frac{kJ}{kgK} \cdot (325,78 - 307)^\circ K$$

$$Q_{loss_{inf}} = 1,6391 \frac{kJ}{s}$$

$$Q_{loss_{inf}} = 1,6391 kW$$

$$Q_{loss_{inf}} = 1639,1 W$$

Tabel 4. 15 Q_{loss} infiltrasi pada setiap percobaan

Percobaan	$Q_{loss_{inf}}(W)$
Kecepatan 0 rpm	-34,1
Kecepatan 205 rpm	1639,1
Kecepatan 273 rpm	1287
Kecepatan 341 rpm	464

$$\text{Sehingga } Q_{loss \text{ Total}} = Q_{loss \text{ dinding}} + Q_{loss \text{ infiltrasi}}$$

$$= 54,392 \text{ W} + 1639,1 \text{ W}$$

$$= 1693,492 \text{ W}$$

4.6 Perhitungan Kalor Uap ($Q_{evaporasi}$)

Menghitung kalor uap ($Q_{evaporasi}$). Berikut ini contoh perhitungan pada percobaan 2.

Diketahui : $T_{inf} = 325,78^\circ K$, berdasarkan tabel A6 didapatkan $H_{fg} = 2379,872 \text{ kJ/kg}$

$$\dot{m} = \frac{\Delta \text{massa ker upuk}}{\text{wkt pengeringan}}$$

$$\dot{m} = \frac{0,25 \text{ kg}}{3600 \text{ s}}$$

$$\dot{m} = 6,94 \cdot 10^{-5} \text{ kg/s}$$

Sehingga didapatkan Q_{evap}

$$Q_{\text{evap}} = \dot{m} \cdot H_{\text{fg}}$$

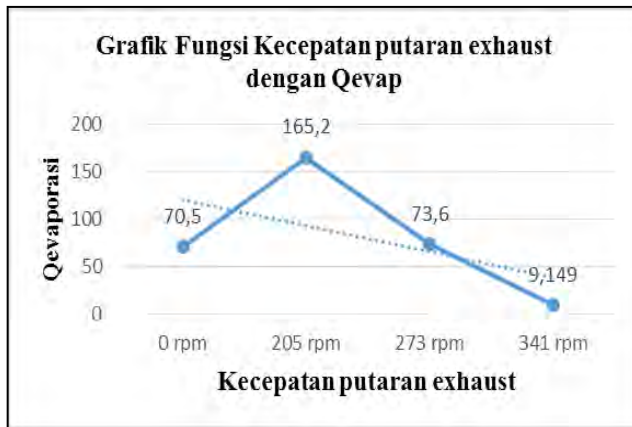
$$Q_{\text{evap}} = 6,94 \cdot 10^{-5} \text{ kg/s} \cdot 2379,872 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_{\text{evap}} = 0,1652 \text{ kW}$$

$$Q_{\text{evap}} = 165,2 \text{ W}$$

Tabel 4. 16 Data hasil Q_{evap} pada setiap percobaan

Percobaan	$Q_{\text{evap}}(\text{W})$
Kecepatan 0 rpm	70,5
Kecepatan 205 rpm	165,2
Kecepatan 273 rpm	73,6
Kecepatan 341 rpm	9,149



Gambar 4. 6 Grafik fungsi kecepatan exhaust fan dengan Q_{evap}

Pada grafik di atas pada kecepatan putaran exhaust fan 0 rpm dan pada kecepatan putaran exhaust fan 205 rpm mengalami kenaikan kemudian mengalami penurunan pada kecepatan putaran exhaust fan 373 rpm dan 341 rpm. Laju perpindahan massa (Q_{evap}) yang paling besar adalah pada percobaan kedua yaitu kecepatan 205 rpm yaitu 165,2 W, sedangkan laju perpindahan massa terkecil pada percobaan pertama dengan kecepatan 0 rpm.

4.7 Perhitungan Rendemen

Rendemen adalah presentase berat kering dibanding berat sebelum dikeringkan. Pada pengujian didapatkan rendemen sebesar.

$$\text{Rendemen} = \frac{\text{berat kerupuk setelah dikeringkan}}{\text{berat kerupuk sebelum dikeringkan}} \times 100\%$$

Contoh perhitungan rendemen pada percobaan 2:

$$rendemen = \frac{5,75kg}{6kg} \times 100\%$$

$$rendemen = 0,958\%$$

4.8 Perhitungan Hasil Panas yang Tersimpan pada Pengering (Q_{st})

$$Q_{in} + Q_g = Q_{out} + Q_{st}, \text{ asumsi } Q_g = 0$$

$$Q_{st} = Q_{in} - Q_{out}$$

$$Q_{st} = Q_{in} - (Q_{loss} + Q_{evap})$$

Jadi,

$$Q_{st} = Q_{in} - (Q_{loss} + Q_{evap})$$

Untuk percobaan 2 maka:

$$\begin{aligned} Q_{st} &= 11.742,8 - (54,392 + 165,2) \\ &= W \end{aligned}$$

Tabel 4. 17 Data hasil Q_{st} pada setiap percobaan

Percobaan	Q _{st} (W)
Kecepatan 0 rpm	2.646,5387
Kecepatan 205 rpm	11.853,608
Kecepatan 273 rpm	12.568,9622
Kecepatan 341 rpm	16.285,1001



Gambar 4. 7 Grafik fungsi kecepatan exhaust fan dengan Q_{st}

Pada grafik di atas pada Q_{st} yang paling besar adalah pada percobaan ketiga yaitu kecepatan 273 rpm yaitu 37192,0622 W, sedangkan Q_{st} terkecil pada percobaan pertama dengan kecepatan 0 rpm yaitu 12892,9287 W.

Tabel 4. 18 Hasil Perhitungan

	0 rpm	205 rpm	273 rpm	341 rpm
t (jam)	1	1	1	1
V (m/s)	0,3	1,1	1,4	1,5
Q_{in} (W)	2.760	11.742,8	12.662,5	16.301,8
Q_{evap} (W)	70,5	165,2	73,6	9,149
Q_{loss} (W)	-51,1387	1693,392	1306,9378	470, 5509
Q_{st} (W)	2.646,538 7	11.853,608	12.568,962 2	16.285,100 1

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Diperoleh desain oven pengering kerupuk dengan konsep perpindahan panas konveksi paksa. Dimana penyerapan aliran udara panas dibantu oleh *exhaust fan*. Rak oven pengering disusun secara zig-zag sehingga aliran udara panas dapat menyebar ke seluruh ruang pada oven pengering.
2. Berdasarkan pengujian dan perhitungan yang telah dilakukan, diperoleh data kalor penguapan (Q_{evap}) yang terbesar yaitu 165,2 W pada kondisi kecepatan *exhaust fan* 205 rpm, sedangkan Q_{evap} terkecil yaitu 9,149 W pada kondisi kecepatan *exhaust fan* 0 rpm. Sehingga berdasarkan data tersebut, kecepatan *exhaust fan* yang paling baik untuk mengeringkan kerupuk adalah kecepatan 205 rpm.
3. Pemilihan bahan untuk oven dan rangka rak menggunakan galvalum, sedangkan rak penampung menggunakan alumunium. Pemilihan bahan tersebut berdasarkan sifat material yang dibutuhkan yaitu kuat, tahan karat, dan tahan panas, selain itu harga alumunium dan galvalum dapat dijangkau oleh UMKM jajanan kerupuk Bapak Mundzir.

5.2 Saran

1. Karena proses pengeringan kerupuk menggunakan uap panas selama proses penggorengan, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terhadap kandungan minyak yang terdapat kerupuk .

2. Pengaturan bukaan *nozzle* sehingga bahan bakar yang keluar dapat disamakan untuk setiap proses penggorengan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Incopera, Frank P., Dewitt, David P., dkk. 2002. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer, Seventh Edition*. United States of America: John Wiley & Sons, Inc.
2. Sonntag, Richard E., dkk. 2003. *Fundamentals of Thermodynamics, Sixth Edition*. United States of America: John Wiley & Sons, Inc.
3. Hidayati, Dian. 2013. *Uji Eksperimental Pengaruh bekaan Cerobong Pada Oven Terhadap Kecepatan Pengeringan Kerupuk Rengginang*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
4. Nazar, Andrew Jaya. 2014. *Analisis Perpindahan Panas Pada Oven Untuk Proses Pengeringan jamur Tiram*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
5. Anonim//http://fandymaniz.wordpress.com//grafik_kalor_fendymaniz.htm (diakses pada 27 Juni 2015)

LAMPIRAN 1

TABLE A.4 Thermophysical Properties of Gases at Atmospheric Pressure^a

T (K)	ρ (kg/m ³)	c_p (kJ/kg·K)	$\mu \cdot 10^7$ (N·s/m ²)	$\nu \cdot 10^6$ (m ² /s)	$k \cdot 10^7$ (W/m·K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m ² /s)	Pr
Air, $M = 28.97$ kg/kmol							
100	3.5562	1.032	71.1	2.00	9.34	2.54	0.786
150	2.3364	1.012	103.4	4.426	13.8	5.84	0.758
200	1.7458	1.007	132.5	7.590	18.1	10.3	0.737
250	1.3947	1.006	159.6	11.44	22.3	15.9	0.720
300	1.1614	1.007	184.6	15.89	26.3	22.5	0.707
350	0.9950	1.009	208.2	20.92	30.0	29.9	0.700
400	0.8711	1.014	230.1	26.41	33.8	38.3	0.690
450	0.7740	1.021	250.7	32.39	37.3	47.2	0.686
500	0.6964	1.030	270.1	38.79	40.7	56.7	0.684
550	0.6329	1.040	288.4	45.57	43.9	66.7	0.683
600	0.5804	1.051	305.8	52.69	46.9	76.9	0.685
650	0.5356	1.063	322.5	60.21	49.7	87.3	0.690
700	0.4975	1.075	338.8	68.10	52.4	98.0	0.695
750	0.4643	1.087	354.6	76.37	54.9	109	0.702
800	0.4354	1.099	369.8	84.93	57.3	120	0.709
850	0.4097	1.110	384.3	93.80	59.6	131	0.716
900	0.3868	1.121	398.1	102.9	62.0	143	0.720
950	0.3666	1.131	411.3	112.2	64.3	155	0.723
1000	0.3482	1.141	424.4	121.9	66.7	168	0.726
1100	0.3166	1.159	449.0	141.8	71.5	195	0.728
1200	0.2902	1.175	473.0	162.9	76.3	224	0.728
1300	0.2679	1.189	496.0	185.1	82	257	0.719
1400	0.2488	1.207	530	213	91	303	0.703
1500	0.2322	1.230	557	240	100	350	0.685
1600	0.2177	1.248	584	268	106	390	0.688
1700	0.2049	1.267	611	298	113	435	0.685
1800	0.1935	1.286	637	329	120	482	0.683
1900	0.1833	1.307	663	362	128	534	0.677
2000	0.1741	1.337	689	396	137	589	0.672
2100	0.1658	1.372	715	431	147	646	0.667
2200	0.1582	1.417	740	468	160	714	0.655
2300	0.1513	1.478	766	506	175	783	0.647
2400	0.1448	1.558	792	547	196	869	0.630
2500	0.1389	1.665	818	589	222	960	0.613
3000	0.1135	2.726	955	841	486	1570	0.536
Ammonia (NH ₃), $M = 17.03$ kg/kmol							
300	0.6894	2.158	101.5	14.7	24.7	16.6	0.887
320	0.6448	2.170	109	16.9	27.2	19.4	0.870
340	0.6059	2.192	116.5	19.2	29.3	22.1	0.872
360	0.5716	2.221	124	21.7	31.6	24.9	0.872
380	0.5410	2.254	131	24.2	34.0	27.9	0.869

LAMPIRAN 2

TABLE A.6 Thermophysical Properties of Saturated Water^a

Temperature, <i>T</i> (K)	Pressure, <i>p</i> (bars) ^a	Specific Volume (m ³ /kg)	Heat of Vapori- zation, <i>h_{fg}</i> (kJ/kg)	Specific Heat (kJ/kg·K)		Viscosity (N·s/m ²)		Thermal Conductivity (W/m·K)		Prandtl Number		Surface Tension, <i>σ</i> , 10 ³ (N/m)	Expansion Coeff. <i>β</i> , 10 ⁶ (K ⁻¹)	Tempera- ture, <i>T</i> (K)	
				<i>c_p</i> · 10 ³	<i>c_k</i>	<i>μ_s</i> · 10 ⁶	<i>μ_k</i> · 10 ⁶	<i>k_s</i> · 10 ³	<i>k_k</i> · 10 ³	<i>Pr_s</i>	<i>Pr_k</i>				
273.15	0.00611	1.000	206.3	2.302	4.217	1.854	1750	8.02	569	18.2	12.99	0.815	75.5	-68.05	273.15
275	0.00697	1.000	181.7	2.497	4.211	1.855	1652	8.09	574	18.3	12.22	0.817	75.3	-32.74	275
280	0.00990	1.000	130.4	2.485	4.198	1.858	1422	8.29	582	18.6	10.26	0.825	74.8	46.04	280
285	0.01387	1.000	99.4	2.473	4.189	1.861	1225	8.49	590	18.9	8.81	0.833	74.3	114.1	285
290	0.01917	1.001	69.7	2.461	4.184	1.864	1080	8.69	598	19.3	7.56	0.841	73.7	174.0	290
295	0.02617	1.002	51.94	2.449	4.181	1.868	959	8.89	606	19.5	6.62	0.849	72.7	227.5	295
300	0.03531	1.003	39.13	2.438	4.179	1.872	855	9.09	613	19.6	5.83	0.857	71.7	276.1	300
305	0.04712	1.005	29.74	2.426	4.178	1.877	769	9.29	620	20.1	5.20	0.865	70.9	320.6	305
310	0.06221	1.007	22.93	2.414	4.178	1.882	695	9.49	628	20.4	4.62	0.873	70.0	361.9	310
315	0.08132	1.009	17.82	2.402	4.179	1.888	631	9.69	634	20.7	4.16	0.883	69.2	400.4	315
320	0.1053	1.011	13.98	2.390	4.180	1.895	577	9.89	640	21.0	3.77	0.894	68.3	436.7	320
325	0.1351	1.013	11.06	2.378	4.182	1.903	528	10.09	645	21.3	3.42	0.901	67.5	471.2	325
330	0.1719	1.016	8.82	2.366	4.184	1.911	489	10.29	650	21.7	3.15	0.908	66.6	504.0	330
335	0.2167	1.018	7.09	2.354	4.186	1.920	453	10.49	656	22.0	2.88	0.916	65.8	535.5	335
340	0.2713	1.021	5.74	2.342	4.188	1.930	420	10.69	660	22.3	2.66	0.925	64.9	566.0	340
345	0.3372	1.024	4.683	2.329	4.191	1.941	389	10.89	664	22.6	2.45	0.933	64.1	595.4	345
350	0.4163	1.027	3.846	2.317	4.195	1.954	365	11.09	668	23.0	2.29	0.942	63.2	624.2	350
355	0.5100	1.030	3.180	2.304	4.199	1.968	343	11.29	671	23.3	2.14	0.951	62.3	652.3	355
360	0.6209	1.034	2.645	2.291	4.203	1.983	324	11.49	674	23.7	2.02	0.960	61.4	679.9	360
365	0.7514	1.038	2.212	2.278	4.209	1.999	306	11.69	677	24.1	1.91	0.969	60.5	707.1	365
370	0.9040	1.041	1.861	2.265	4.214	2.017	289	11.89	679	24.5	1.80	0.978	59.5	728.7	370
373.15	1.0133	1.044	1.679	2.257	4.217	2.029	279	12.02	680	24.8	1.76	0.984	58.9	750.1	373.15
375	1.0815	1.045	1.574	2.252	4.220	2.036	274	12.09	681	24.9	1.70	0.987	58.6	761	375
380	1.2869	1.049	1.317	2.239	4.226	2.057	260	12.29	683	25.4	1.61	0.999	57.6	788	380
385	1.5333	1.053	1.142	2.225	4.232	2.080	248	12.49	685	25.8	1.53	1.004	56.6	814	385
390	1.794	1.058	0.980	2.212	4.239	2.104	237	12.69	686	26.3	1.47	1.013	55.6	841	390
400	2.455	1.067	0.731	2.183	4.256	2.158	217	13.05	688	27.2	1.34	1.033	53.6	896	400
410	3.302	1.077	0.533	2.153	4.278	2.221	200	13.42	688	28.2	1.24	1.054	51.5	952	410
420	4.370	1.088	0.425	2.123	4.302	2.291	185	13.79	688	29.8	1.16	1.075	49.4	1010	420
430	5.699	1.099	0.331	2.091	4.331	2.369	173	14.14	685	30.4	1.09	1.10	47.2		430

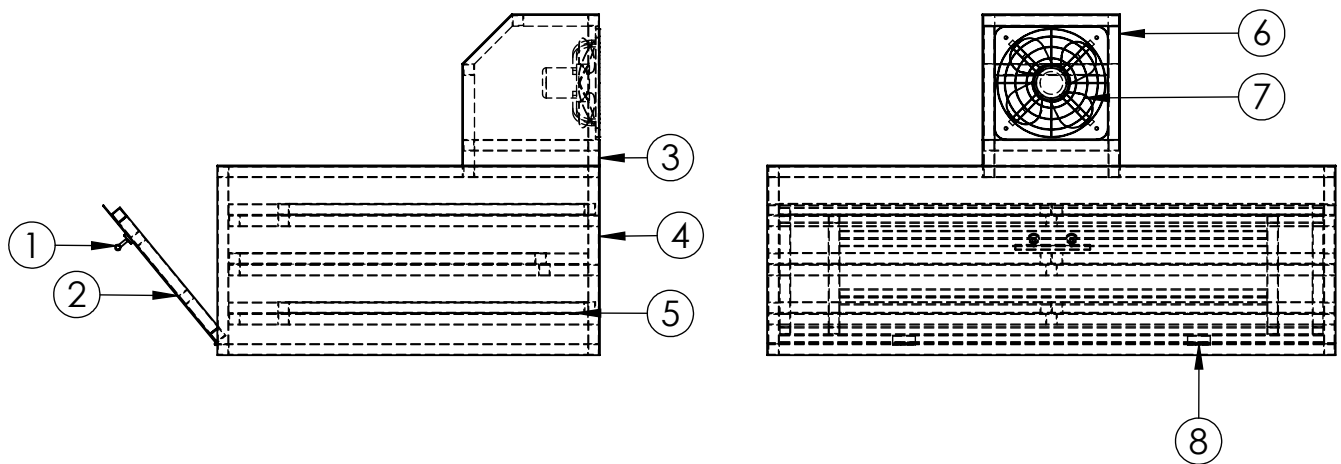
LAMPIRAN 3

Section: Appendix A
Lower and Higher Heating Values of Gas, Liquid and Solid Fuels

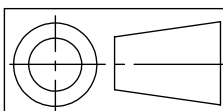
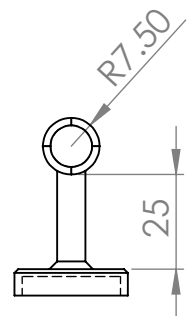
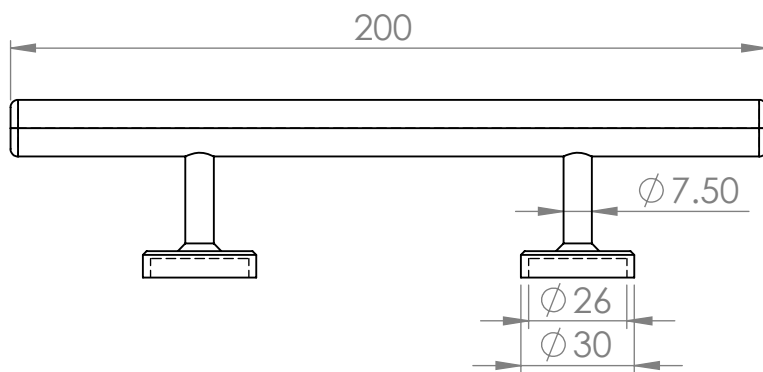
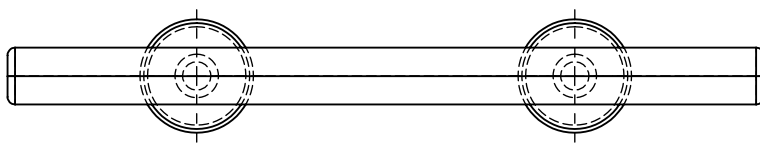
Fuels	Lower Heating Value (LHV) [1]			Higher Heating Value (HHV) [1]			Density
Gaseous Fuels @ 32 F and 1 atm	Btu/ft ³ [2]	Btu/lb [3]	MJ/kg [4]	Btu/ft ³ [2]	Btu/lb [3]	MJ/kg [4]	grams/ft ³
Natural gas	983	20,267	47.141	1089	22,453	52.225	22.0
Hydrogen	290	51,682	120.21	343	61,127	142.18	2.55
Still gas (in refineries)	1458	20,163	46.898	1,584	21,905	50.951	32.8
Liquid Fuels	Btu/gal [2]	Btu/lb [3]	MJ/kg [4]	Btu/gal [2]	Btu/lb [3]	MJ/kg [4]	grams/gal
Crude oil	129,670	18,352	42.686	138,350	19,580	45.543	3,205
Conventional gasoline	116,090	18,679	43.448	124,340	20,007	46.536	2,819
Reformulated or low-sulfur gasoline	113,602	18,211	42.358	121,848	19,533	45.433	2,830
CA reformulated gasoline	113,927	18,272	42.500	122,174	19,595	45.577	2,828
U.S. conventional diesel	128,450	18,397	42.791	137,380	19,676	45.766	3,167
Low-sulfur diesel	129,488	18,320	42.612	138,490	19,594	45.575	3,206
Petroleum naphtha	116,920	19,320	44.938	125,080	20,869	48.075	2,745
NG-based FT naphtha	111,520	19,081	44.383	119,740	20,488	47.654	2,651
Residual oil	140,353	16,968	39.466	150,110	18,147	42.210	3,752
Methanol	57,250	8,639	20.094	65,200	9,838	22.884	3,006
Ethanol	76,330	11,587	26.952	84,530	12,832	29.847	2,988
Butanol	99,837	14,775	34.366	108,458	16,051	37.334	3,065
Acetone	83,127	12,721	29.589	89,511	13,698	31.862	2,964
E-Diesel Additives	116,090	18,679	43.448	124,340	20,007	46.536	2,819
Liquefied petroleum gas (LPG)	84,950	20,038	46.607	91,410	21,561	50.152	1,923
Liquefied natural gas (LNG)	74,720	20,908	48.632	84,820	23,734	55.206	1,621
Dimethyl ether (DME)	68,930	12,417	28.882	75,610	13,620	31.681	2,518
Dimethoxy methane (DMM)	72,200	10,061	23.402	79,197	11,036	25.670	3,255
Methyl ester (biodiesel, BD)	119,550	16,134	37.528	127,960	17,269	40.168	3,361
Fischer-Tropsch diesel (FTD)	123,670	18,593	43.247	130,030	19,549	45.471	3,017
Renewable Diesel I (SuperCetane)	117,059	18,729	43.563	125,294	20,047	46.628	2,835
Renewable Diesel II (UCP-HDO)	122,887	18,908	43.979	130,817	20,128	46.817	2,948
Renewable Gasoline	115,883	18,590	43.239	124,230	19,911	46.314	2,830
Liquid Hydrogen	30,500	51,621	120.07	36,020	60,964	141.80	268
Methyl tertiary butyl ether (MTBE)	93,540	15,094	35.108	101,130	16,319	37.957	2,811
Ethyl tertiary butyl ether (ETBE)	96,720	15,613	36.315	104,530	16,873	39.247	2,810
Tertiary amyl methyl ether (TAME)	100,480	15,646	36.392	108,570	16,906	39.322	2,913
Butane	94,970	19,466	45.277	103,220	21,157	49.210	2,213
Isobutane	90,060	19,287	44.862	98,560	21,108	49.096	2,118
Isobutylene	95,720	19,271	44.824	103,010	20,739	48.238	2,253
Propane	84,250	19,904	46.296	91,420	21,597	50.235	1,920
Solid Fuels	Btu/ton [2]	Btu/lb [5]	MJ/kg [4]	Btu/ton [2]	Btu/lb [5]	MJ/kg [4]	
Coal (wet basis) [6]	19,546,300	9,773	22.732	20,608,570	10,304	23.968	
Bituminous coal (wet basis) [7]	22,460,600	11,230	26.122	23,445,900	11,723	27.267	
Coking coal (wet basis)	24,600,497	12,300	28.610	25,679,670	12,840	29.865	
Farmed trees (dry basis)	16,811,000	8,406	19.551	17,703,170	8,852	20.589	
Herbaceous biomass (dry basis)	14,797,555	7,399	17.209	15,582,870	7,791	18.123	
Corn stover (dry basis)	14,075,990	7,038	16.370	14,974,460	7,487	17.415	
Forest residue (dry basis)	13,243,490	6,622	15.402	14,164,160	7,082	16.473	
Sugar cane bagasse	12,947,318	6,474	15.058	14,062,578	7,031	16.355	
Petroleum coke	25,370,000	12,685	29.505	26,920,000	13,460	31.308	

Source:

GREET, The Greenhouse Gases, Regulated Emissions, and Energy Use In Transportation Model, GREET 1.8d.1, developed by Argonne National Laboratory, Argonne, IL, released August 26, 2010.
<http://greet.es.anl.gov/>



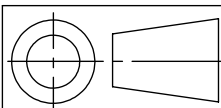
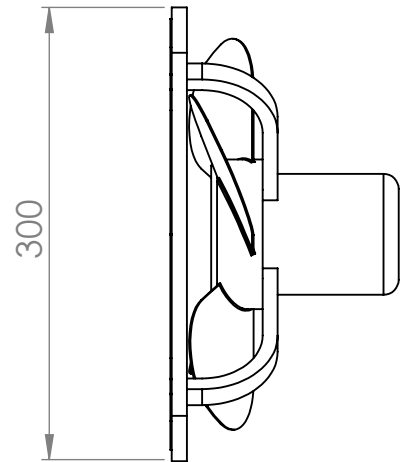
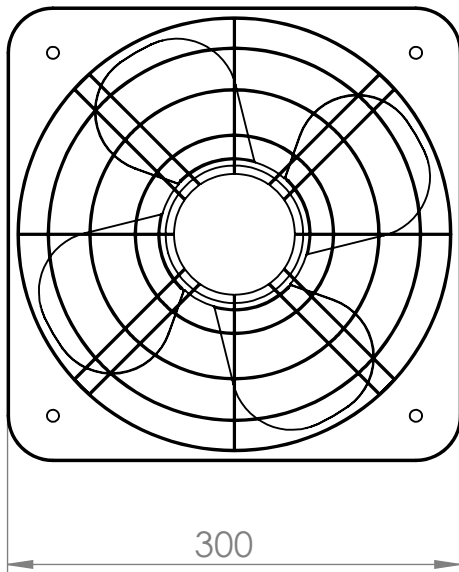
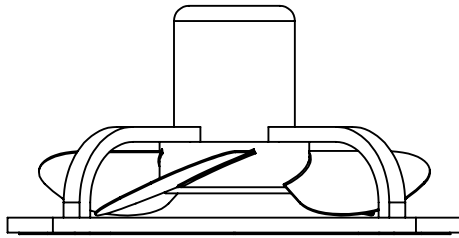
8	2	Engsel	Stainless Steel			
7	1	Exhaust Fan	Fe3C			
6	1	Rangka	Galvalume			
5	6	Rak	Galvalume			
4	1	Badan Oven	Galvalume			
3	1	Cerobong	Galvalume			
2	1	Pintu	Galvalume			
1	1	Handle	Stainless Steel			
NO. BAG	JUM-LAH	NAMA BAGIAN	BAHAN	UKURAN	KETERANGAN	
	Skala : 1: 20		Digambar : Fierda & Ilham		PERINGATAN :	
	Ukuran : mm		Dept. : D3 Teknik Mesin			
	Tgl : 01-06-'15		Dilihat :Dedy Z., MT.PhD.			
Lab Gambar D3 Teknik Mesin		Oven Pengering Kerupuk			No. 01	A4



Skala : 1 : 2
 Ukuran : mm
 Tgl : 01-06-'15

Digambar : Fierda & Ilham
 Dept. : D3 Teknik Mesin
 Dilihat : Dedy Z., MT.PhD.

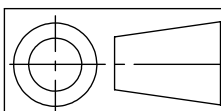
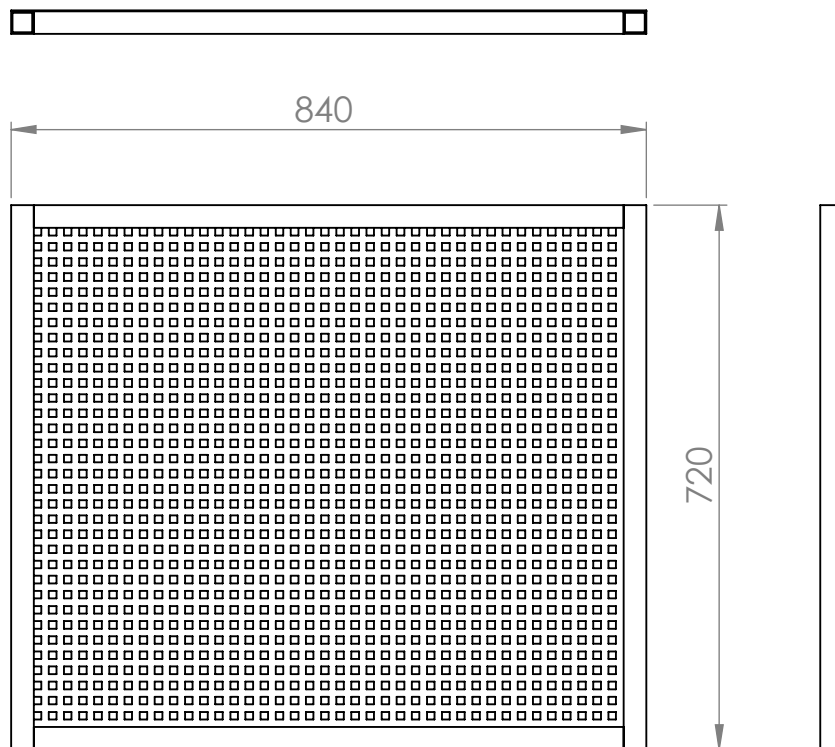
PERINGATAN :



Skala : 1 : 5
Ukuran : mm
Tgl : 01-06-'15

Digambar : Fierda & Ilham
Dept. : D3 Teknik Mesin
Dilihat : Dedy Z., MT.PhD.

PERINGATAN :



Skala : 1: 10

Ukuran : mm

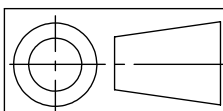
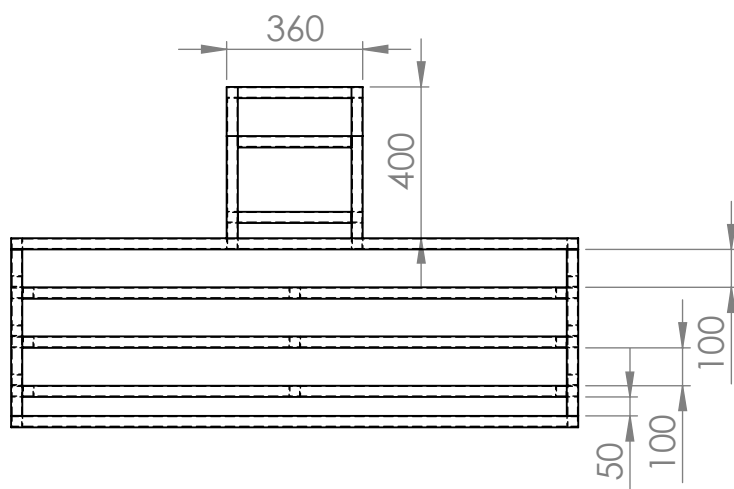
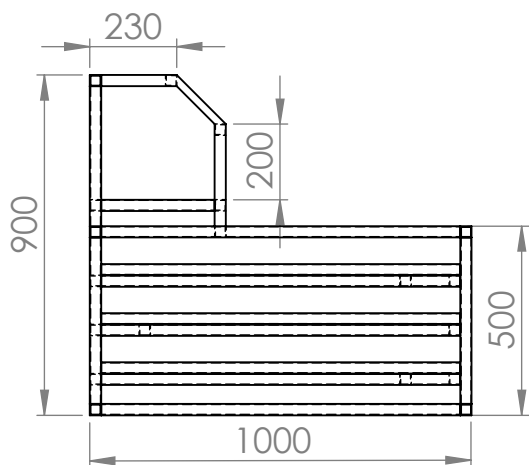
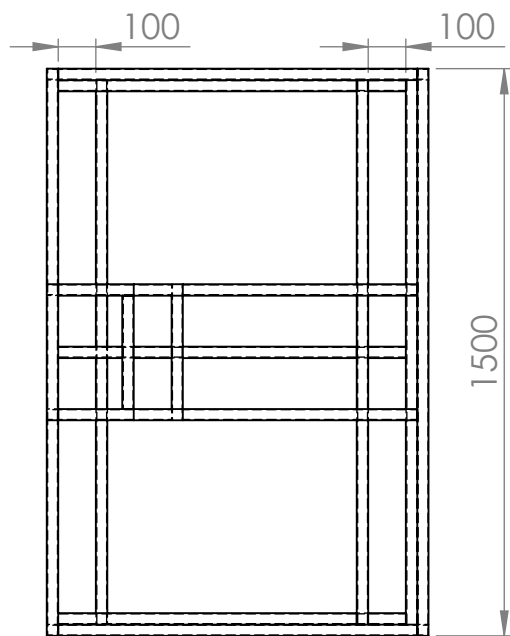
Tgl : 01-06-'15

Digambar : Fierda & Ilham

Dept. : D3 Teknik Mesin

Dilihat : Dedy Z., MT.PhD.

PERINGATAN :



Skala : 1: 20
Ukuran : mm
Tgl : 01-06-'15

Digambar : Fierda & Ilham
Dept. : D3 Teknik Mesin
Dilihat : Dedy Z., MT.PhD.

PERINGATAN :

BIODDATA PENULIS
ILHAM ALKAROMI (2112039037)



Penulis dilahirkan di Balikpapan pada tanggal 19 Desember 1994. Penulis merupakan anak kedua dari 5 bersaudara pasangan bapak Afifuddin Bakri dan Sularni.

Pendidikan formal yang ditempuh adalah SDN 016 Bukit Timah (2000-2006), SMP Muhammadiyah 12 Sendangagung (2006-2009), MA Al-Ishlah Sendangagung (2009-2012). Kemudian melalui program beasiswa bidikmisi, sekarang Penulis menjadi mahasiswa semester 6 jurusan D3 Teknik Mesin Produksi kerjasama di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya dengan NRP. 2112039037.

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif dalam mengikuti even-even yang ada di ITS, seperti workshop, seminar, pelatihan dan lomba program kreativitas mahasiswa (PKM). Pada tahun 2012 mengikuti pelatihan Fisik Mental Disiplin di Puslatpur Purboyo, tahun 2013 tergabung dalam tim “Cemplung Byur Tahu Crispy”, tahun 2014 tergabung dalam tim “Rotary Grinding” dan “Fence Bender”, tim “Fence Bender” lolos PIMNAS 27 Undip Semarang dan berhasil keluar sebagai juara 2 presentasi PKM-T, tahun 2015 tergabung dalam tim “Cashew Killer” dan “Petruk”. Selain aktif mengikuti even, penulis juga aktif dalam berorganisasi, organisasi yang pernah diikuti adalah Forkom M3ner ITS Surabaya, UKM Click ITS Surabaya dan Ikatan Keluarga Pondok Pesantre Al-Ishlah (IKPI) Surabaya.